

00387

7



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

# POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

## FACULTAD DE CIENCIAS

RELACION ENTRE LAS VARIABLES AMBIENTALES Y LA REPRODUCCIÓN DE LA TORTUGA LORA (*Lepidochelys kempi*, GARMAN, 1880) EN LA PLAYA DE RANCHO NUEVO, TAMPS.

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTORA EN CIENCIAS (BIOLOGÍA)

PRESENTA:

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

M.C. MARÍA DEL CARMEN JIMÉNEZ QUIROZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. RENÉ SIGFRIDO MÁRQUEZ MILLÁN

MEXICO, D.F.

JUNIO 2003

3 de la Dirección General de Bibliotecas...  
M. del C. Jiménez Quiroz  
René Sigfrido Márquez Millán  
2003

A



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTE PROYECTO SE REALIZÓ EN EL CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIÓN PESQUERA DE MANZANILLO (INSTITUTO NACIONAL DE LA PESCA) COMO PARTE DEL PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y MANEJO DE TORTUGAS MARINAS.

PARTE DE LA INVESTIGACIÓN FUE FINANCIADA POR EL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (NO. DE REGISTRO: 93865) Y POR EL PROGRAMA DE APOYO A LAS DIVISIONES DE ESTUDIOS DE POSGRADO-TESIS DOCTORALES DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MÉXICO (CLAVE 003351).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

B

*Estás sobre la playa de algodones  
y tu marea de sombras sube y baja*

*Jaime Sabines (1973)*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2

**Para Rodrigo Aarón y Alejandra.**

## AGRADECIMIENTOS

En las diferentes etapas que comprendió este trabajo tuve la fortuna de contar con la colaboración y el apoyo de un gran número de personas que, de una forma u otra, contribuyeron a su realización. Sin embargo, mi familia ha sido el pilar más importante, ya que sólo gracias a ellos fue posible continuar, aún en los momentos en los que la investigación parecía más ardua e interminable.

El proyecto se formuló y desarrolló en el Centro Regional de Investigación Pesquera de Manzanillo, como parte del Programa Nacional de Investigación de Tortugas Marinas, que durante casi cuarenta años se desarrolló en el Instituto Nacional de la Pesca, en donde fue encabezado por el Dr. René Márquez Millán, a quien le expreso mi más profundo agradecimiento por su confianza al permitirme utilizar la información biológica generada en el campamento de Rancho Nuevo y por la dirección de esta tesis.

También debo reconocer la guía y amistad del Dr. José Luis Castro Aguirre y el Dr. Oscar Arizpe Covarrubias desde que inicie este trabajo, así como las observaciones y comentarios a este documento del Dr. Gustavo Casas Andreu, la Dra. Norma Sánchez Santillán y el Dr. Oscar Flores Villela. Debo hacer mención especial del Dr. Manuel Gallardo Cabello, quien contribuyó significativamente a finalizar este trabajo y cuyo apoyo ha sido invaluable.

Las actividades en Rancho Nuevo (Tamps) fueron parte del Programa de Cooperación de México y Estados Unidos MEXUS-Golfo, desarrollado bajo la coordinación de la Secretaría de Pesca (SEPESCA) y posteriormente de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), por el Instituto Nacional de la Pesca, el National Marine Fisheries Service y el US Fish and Wildlife Service, con la colaboración y el patrocinio del Zoológico Gladys Porter de Brownsville, el Mineral Management Service y la Cámara de la Industria Pesquera de Tampico. En los casi cuarenta años que ha operado ese campamento la dedicación de los técnicos e investigadores que han participado ha sido determinante en el éxito de los trabajos de conservación. El Biol. Aristóteles Villanueva (q.e.p.d.), el Tec. Manuel Sánchez Pérez, Tec. Juan Díaz Flores, la Biol. Alma Leo Peredo, el M.C. Carlos Delgado, Jaime Peña, Jaime Ortiz, entre otros, han dirigido esas actividades.

Las imágenes de la temperatura superficial marina fueron obtenidas gracias al Convenio existente entre el Laboratorio de Oceanografía Física del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM y el Instituto Nacional de la Pesca, por lo que brindo el más amplio reconocimiento al Dr. Artemio Gallegos, al M.C. Ranulfo Rodríguez y a mis compañeros, la Biol. Aurora Monreal y el Ing. Eric Márquez. Algunas imágenes adicionales fueron obtenidas gracias al Dr. Román Álvarez y la M.C. Olivia Salmerón García, pertenecientes al Instituto de Geografía de la UNAM. También debo agradecer los comentarios del Dr. Raúl Aguirre, el Dr. Anatoly Filonov, la Dra. Adela Monreal y el Dr. Javier Aldeco sobre el capítulo correspondiente, así como al Dr. Jorge Zavala Hidalgo quien proporcionó una simulación numérica del Golfo de México elaborada por la COAPS/Florida State University que contribuyó a la interpretación de los datos.

Los registros meteorológicos fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA) a través del Ing. Othón Cervantes, así como del Departamento de Hidrometeorología de la Comisión Federal de Electricidad gracias al Geogr. Rafael Terres y al M.C. Leodegario Sansón. Por otro lado, la asesoría de la Dra. Norma Leticia Sánchez

E

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Santillán contribuyó al análisis y la interpretación de los datos, a quién le agradezco su tiempo y amistad desde hace más de veinte años.

Otras personas que contribuyeron de manera muy importante en el desarrollo de este documento fueron el M.C. Alfoso Esquivel, el Ing. Noé Andrés Villanueva, la Dra. Elaine Espino Barr y particularmente, el Dr. Anatoly Filonov, quien llevó a cabo el análisis de series de tiempo y ha dedicado muchas horas a explicarme dichos procesos. El Ing. Villanueva desarrolló los programas de computación necesarios para dar seguimiento a las hembras marcadas, mientras que la Dra. Espino tuvo la paciencia de revisar el manuscrito, incluyendo los numerosos borradores que se fueron descartando en el camino.

No puedo olvidar al personal de la Dirección de Postgrado y de Becas de la Facultad de Ciencias de la UNAM, cuya dedicación al trabajo y comprensión facilitó los trámites necesarios para la obtención del grado, así como a los directivos, técnicos e investigadores del Centro Regional de Investigación Pesquera de Manzanillo, quienes me han acompañado en las vicisitudes de esta labor durante los últimos 9 años.

Finalmente quiero señalar que este documento hubiera sido imposible de desarrollar sin mis entrañables amigos la Dra. Yanira Green Ruiz, la Dra. Lourdes Jiménez, el Dr. Alejandro Álvarez, Eleazar y Lupita Gámez y sobre todo sin mi familia: mi madre Ma. Elena Quiroz Flores, mis hermanas Juliana y Ma. Elena Jiménez Quiroz, así como por mi compañero Alejandro Rodríguez Buendía y mis dos hijos Rodrigo Aarón y Alejandra Rodríguez Buendía, cuya infancia ha transcurrido junto a números, computadoras y textos de tortugas marinas.

## RESUMEN

*El objetivo de este trabajo fue describir las variaciones de la distribución espacial y temporal de las hembras de tortuga lora (Lepidochelys kempi, Garman 1880) sobre la playa de anidación de Rancho Nuevo (Tamaulipas, México) en las temporadas de desove comprendidas entre 1978 y 1998, a partir de la hipótesis de que el comportamiento de las tortugas fue regulado por mecanismos endógenos y que las desviaciones de los patrones promedio fueron determinadas por los cambios en el ambiente y las particularidades de los individuos.*

*La primera fase de este estudio consistió en describir la hidrodinámica y la distribución de la temperatura superficial marina en la plataforma continental del Golfo de México comprendida entre los paralelos 21 y 27°N, para incluir los corredores migratorios. También se analizaron las características climáticas y meteorológicas de la zona de anidación.*

*Las corrientes sobre la plataforma de Tamaulipas se modificaron periódicamente de acuerdo con el régimen de vientos y la circulación de mesoescala. En el invierno y al principio de la primavera, la dirección de las corrientes costeras fue hacia el Sur, forzada por los vientos del Norte y la circulación ciclónica de la plataforma continental de Texas y Luisiana. En contraste, en el borde de la plataforma la corriente se dirigió al Norte, impulsada por la presencia permanente de los giros anticiclónicos en la zona oceánica. Al final de la primavera, el rumbo de las corrientes costeras se invirtió como resultado de la influencia de los anticiclones y de la instauración del régimen de los alisios. En mayo se presentó una breve etapa de transición entre estos dos tipos de circulación. La temperatura superficial de los corredores migratorios, presentó variaciones significativas en el espacio (latitudinales) y el tiempo, excepto entre los paralelos 23 y 24 °N, donde fue más estable.*

*El análisis climático mostró que la temperatura del aire se incrementó paulatinamente desde 1927, mientras que la precipitación siguió la tendencia contraria. Sin embargo, ambas variables fluctuaron ampliamente como resultado del paso de fenómenos de escala sinóptica de periodicidad diaria, los ciclos estacionales anuales y los procesos atmosféricos de cobertura global, tales como El Niño-la Oscilación del Sur (ENSO) y los ciclos solares. La repetición de esos eventos fue relativamente pequeña en la zona de anidación; el ENSO y el Patrón Pacífico Norteamérica (PNA) disminuyeron la temperatura, aunque de manera diferencial, porque la influencia del PNA fue inmediata, mientras que la del ENSO se retrasó cinco meses. El efecto de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) no fue significativo, aunque posiblemente contrarresto al ENSO.*

*La anidación fue más abundante en el trimestre abril-junio, intervalo que se caracterizó por el incremento constante de la temperatura y la transición entre el régimen invernal del viento al de verano. Los análisis de componentes principales mostraron que la temperatura es un indicador adecuado de las variaciones meteorológicas dentro del trimestre. Por otro lado, la tendencia de la temperatura de esos meses fue creciente en el lapso 1978-1998, y contrastó con el decremento de la nubosidad, la precipitación y la humedad relativa.*

*La segunda fase de este trabajo incluyó la descripción de la distribución espacial y temporal de la población anidadora y de algunas hembras (identificadas por la marca) de L. kempi en la playa de Rancho Nuevo entre 1978 y 1998 para determinar la variabilidad de los patrones de distribución, estimar el periodo en el cual llegan al área de reproducción, así como describir las*

características de las arribaciones y de algunos de los factores que influyen en estas agrupaciones. También se analizaron algunos aspectos de su biología reproductiva, tales como la proporción de hembras que anidaron una o más veces, y la periodicidad con la que anidaron dentro y entre las temporadas

Las variaciones de la abundancia de los nidos a escalas mensual y semanal, mostraron que la mayoría de las tortugas anido en periodos definidos, lo cual aunado a la relación negativa entre la anidación de abril y junio, sugiere que las hembras llegaron a las inmediaciones de Rancho Nuevo en un intervalo determinado. Por otra parte, el desove fue más frecuente al medio día, aunque la dispersión de los datos probablemente estuvo asociada a los mecanismos de termorregulación de las tortugas.

Las arribaciones son una de las características más conspicuas de *L. kempi* y se presentaron simultáneamente en los poco más de 100 km que mide la playa de anidación. En los años analizados, su duración, frecuencia y magnitud, variaron de manera similar a la abundancia de las hembras; sin embargo, dentro de las temporadas cada evento fue una respuesta a situaciones particulares.

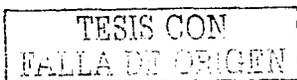
Cada año un porcentaje variable entre el 50 y 60% de las hembras de *L. kempi* anidó más de una vez. Es probable que el primer desove se haya presentado en abril y los primeros días de mayo, mientras que el segundo desde finales de abril, y el tercero a partir de los últimos días de mayo. Los periodos entre estos desoves fueron próximos a los 20 días y 30 días; aunque se modificaron a lo largo de las temporadas y entre los individuos. Por otro lado, la frecuencia de anidación probablemente es bianual; aunque quizá dependa del estado fisiológico de los organismos. Estos resultados difieren de los presentado por otros autores, que los consideraron anuales.

La distribución espacial de los nidos sobre la playa presentó pocos cambios, ya que la mayoría se depositaron en los primeros kilómetros ubicados al Norte del campamento del Rancho Nuevo; sin embargo, al incrementarse la abundancia de las hembras maduras, también fue mayor el número de nidos puestos hacia el Sur. Por otra parte, cuando se presentaron eventos extraordinarios, se modificó la forma de la distribución, la extensión de la playa ocupada por los nidos y la posición de las hembras en el perfil de la playa.

Cada temporada las arribaciones se concentraron alrededor de zonas específicas y las desviaciones de esos patrones generales, se compensaron en los desoves subsecuentes, lo cual muestra el alto grado de agregación de las tortugas.

La última etapa de este estudio fue establecer las relaciones entre las variaciones de la distribución de las hembras de *L. kempi* en el tiempo y el espacio con las características del ambiente.

Los resultados permiten suponer que el desplazamiento de las hembras desde las áreas de alimentación del Norte del Golfo de México, estuvo relacionado con la temperatura superficial marina (TSM), la tasa de calentamiento de esta variable entre el invierno y primavera, así como con los gradientes térmicos entre la costa y la zona oceánica, registrados en los corredores migratorios comprendidos entre los paralelos 24 y 27°N. Lo cual, a su vez, afecta la distribución mensual de la anidación en la playa. En contraste, las hembras que viajan desde el Sur del Golfo no fueron afectadas por las condiciones térmicas del área ubicada entre los 21 y 23°N, porque su temperatura



invernal fue templada y los cambios estacionales fueron menos conspicuos. Por otra parte, la circulación costera invernal de Tamaulipas, caracterizada por la advección de las masas de agua desde la plataforma de Texas, contribuye al ahorro de energía de las hembras de *L. kempi* que migran desde el Norte del Golfo de México. En mayo se presenta la transición entre los regímenes de invierno y verano en la circulación costera, lo que podría favorecer el traslado de las hembras hacia las zonas de alimentación de Texas y Louisiana. Las características oceanográficas permiten suponer que una elevada proporción de las hembras llega a la playa de anidación desde los últimos días de febrero hasta los primeros días de mayo. Esta hipótesis también se apoya en los estudios de otros autores sobre la biología reproductiva de *L. kempi*.

Los mecanismos que detonaron la primera arribazón deben ser una combinación de factores biológicos y ambientales. Es probable que las primeras arribazones se formen al incrementarse la variabilidad del viento, con una TSM cercana a los 23 °C, o después de un incremento súbito de esta variable.

Las curvas de tolerancia mostraron que en el resto de la temporada, las hembras prefirieron desovar en días con temperaturas promedio variables entre los 23 y 28 °C, cuya oscilación diaria fue menor a 6 °C y en los cuales se produjo una ligera disminución de la temperatura con respecto al día anterior. Por otra parte, la anidación presentó variaciones cíclicas con periodos variables entre 3 y 22 días, algunos de los cuales fueron coherentes con los de la temperatura del aire y con el viento, lo cual sugiere que estas variables podrían sincronizar los relojes internos de las tortugas y propiciar la formación de arribazones.

En relación con la distribución espacial, se encontró que las hembras de *L. kempi* depositaron sus nidos en áreas más grandes que otras especies. El análisis de 132 tortugas, indicó que dentro de las temporadas el 30% definió los patrones de distribución, mientras que el 15% se dispersó de manera independiente. Las tortugas restantes fueron ajustando las desviaciones entre los desoves consecutivos para tratar de coincidir con el patrón general.

La anidación siempre fue mayor al Norte del campamento de Rancho Nuevo, aunque el incremento de los nidos hacia el Sur estuvo correlacionado con la abundancia de las hembras y con la ocurrencia de eventos meteorológicos extraordinarios. Dentro de las temporadas, la dirección del viento también influyó en la distribución de las hembras sobre la playa, por lo que la anidación fue mayor al Sur de Rancho Nuevo durante los Nortes, mientras que ocurrió lo contrario cuando el viento fluyó del SE.

Los eventos climáticos de escala global, El Niño la Oscilación del Sur (ENSO) y el Patrón Pacífico-Norteamérica (PNA), disminuyeron la temperatura en el área de anidación durante la migración y el desove, lo que probablemente incidió en la distribución mensual de las hembras sobre la playa de algunas temporadas. Los cambios en el hábitat introducidos por el ENSO aparentemente se relacionaron de manera positiva con la abundancia de las hembras maduras. La relación de la anidación con el PNA y la NAO no fue significativa, aunque no puede descartarse que las modificaciones que estos eventos introducen en el hábitat, particularmente en la temperatura superficial marina, afecten a los organismos en alguna fase del ciclo de vida.

La preferencia de las hembras de *L. kempi* por desovar en las inmediaciones del poblado de Rancho Nuevo, ubicado en el centro de la playa de anidación, la que a su vez está limitada al Norte por el río Soto la Marina y al Sur por Punta Jerez, probablemente estuvo determinada por las características climáticas y oceanográficas de la zona. Aunque las series de tiempo analizadas fueron cortas, mostraron que en las fronteras Norte y Sur, las condiciones fueron más secas y húmedas,

*respectivamente, lo cual podría repercutir en la construcción del nido y el desove, así como en la sobrevivencia de los embriones. Por otro lado, la temperatura superficial marina de la plataforma continental ubicada frente a la playa de antedación fue menos variable en invierno y primavera, que en los corredores migratorios del Norte de Tamaulipas; mientras que los cambios estacionales de la hidrodinámica fueron favorable para la migración de los adultos y la dispersión de las crías.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ANIDACIÓN.....	7
CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS Y CLIMÁTICAS DE LA ZONA DE ANIDACIÓN.....	31
CAPÍTULO III. DISTRIBUCIÓN DE LA TORTUGA LORA EN RANCHO NUEVO, TAMPS.....	55
CAPÍTULO IV. RELACIÓN ENTRE EL AMBIENTE Y LA REPRODUCCIÓN DE LA TORTUGA LORA.....	129
APÉNDICES .....	199
<i>APÉNDICE A. Características oceanográficas de la zona de anidación. Descripción en extenso.....</i>	<i>201</i>
<i>APÉNDICE B. Características meteorológicas y climáticas de la zona de anidación. Descripción en extenso.....</i>	<i>265</i>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## INTRODUCCION

La tortuga marina lora, *Lepidochelys kempi* forma parte de una de las familias de reptiles más antiguas, aunque es una de las especies de menor tamaño y de distribución geográfica más restringida (Márquez, 1996). Por el abrupto declive de su población ha sido clasificada en alto riesgo de extinción.

Los adultos son endémicos del Golfo de México y los juveniles se distribuyen también en el litoral atlántico de Estados Unidos. Su reproducción se realiza casi en forma exclusiva en la costa central de Tamaulipas y ocasionalmente en Veracruz, Campeche y Texas.

La mayor parte de su vida transcurre en el medio marino y sólo durante el desove y la gestación permanecen en tierra, particularmente en la playa de Rancho Nuevo, su principal sitio de anidación. El desove se realiza entre abril y agosto, cuando suben en grandes conjuntos a la playa, formando lo que comúnmente se ha denominado como "arribazones".

La biología de esta especie es poco conocida a pesar de que han ocurrido avances importantes en la identificación de su hábitat y costumbres, así como en la comprensión del proceso reproductivo. Sin embargo aún se ignoran gran parte de los hábitos y rutas migratorias de las crías y los adultos, así como de los mecanismos que contribuyen a regular su abundancia y comportamiento en la playa durante el desove.

El objetivo de este trabajo fue describir los patrones de distribución espacial y temporal de las hembras sobre la playa de anidación de Rancho Nuevo, a partir de la hipótesis de que su comportamiento fue regulado por mecanismos endógenos. Sobre esta base, se asumió que las desviaciones de la distribución promedio fueron determinadas por los cambios en el ambiente y las características de los individuos que integran la población.

Entre la década de los cuarenta y los sesenta, la población fue gravemente diezmada, por lo que en 1966 se estableció el Programa de Protección a cargo del Gobierno Federal, el cual fue apoyado internacionalmente a partir de 1978. Sin embargo, desde el inicio de los trabajos de conservación hasta 1987, la abundancia de las hembras que llegaron a anidar decreció de manera continua, a partir de 1988, esta tendencia se revirtió, por lo que en 1998, último año que se incluyó en este trabajo, el número de nidos registrados fue casi tres veces más grande que el citado en 1987, aunque aún no fue equiparable al estimado en 1966 por los investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Biológico-Pesqueras (hoy Instituto Nacional de la Pesca/ SAGARPA).

Esos cambios en la abundancia posiblemente le confirieron particularidades a la distribución de la población, sin embargo, también permitieron hacer un seguimiento casi individual de una elevada proporción de las hembras que anidaron.

Es probable que las características meteorológicas y oceanográficas imperantes en las áreas de alimentación y en los corredores migratorios influyan en la reproducción de esta especie. No obstante, las descripciones de las condiciones ambientales de la zona de anidación son escasas, lo que hizo necesario analizar las variaciones meteorológicas durante el período de estudio e inferir algunas de las características de la variabilidad climática regional, así como hacer una descripción cualitativa de las corrientes marinas en la plataforma continental de Tamaulipas a partir de la distribución de la temperatura superficial.

Los resultados de la caracterización ambiental y del análisis de la distribución de las hembras se presentan en 4 capítulos, en los que se incluyeron antecedentes, objetivos, métodos y discusiones

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# PAGINACIÓN DISCONTINUA

parciales. Los dos primeros, centrados en la descripción del medio, se encuentran resumidos en el cuerpo de la tesis para evitar la distracción del lector en técnicas que posiblemente resulten poco familiares, no obstante, los documentos en extenso se incluyen en los Apéndices I y II.

En el primer capítulo, a través del análisis de imágenes térmicas mensuales obtenidas con el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), se describió la distribución de la temperatura superficial marina, la tasa con la que se elevó esta variable entre el invierno y la primavera, los gradientes espaciales entre la costa y la zona oceánica en los corredores migratorios ubicados sobre la plataforma continental comprendida entre los paralelos 21 y 27 °N entre 1989 y 1993.

A partir del análisis de imágenes térmicas semanales del lapso 1996-1998, con el apoyo de imágenes altimétricas (publicadas por la Universidad de Colorado) y de la literatura publicada, se infirió el patrón de corrientes marinas de la zona desde marzo hasta septiembre, aunque con énfasis en el período entre marzo y julio. Por otra parte, se extrajeron los valores promedio y los gradientes térmicos entre pixel y pixel de imágenes semanales de la plataforma continental ubicada entre los paralelos 23 y 24 °N para relacionarlos con la abundancia de las hembras sobre la playa en el intervalo abril-julio de 1996 a 1998.

El segundo capítulo está dedicado a la descripción de las variaciones meteorológicas entre 1978 y 1998 así como de la variabilidad climática de la región entre 1925 y 1996. En esta sección se cuantificaron las diferencias entre las estaciones meteorológicas ubicadas en Soto la Marina, Barra del Tordo y Punta Jerez, localidades que se encuentran en los extremos de la zona de anidación para determinar la representatividad de los datos de Soto la Marina de las condiciones regionales. Se realizaron comparaciones adicionales entre la información de esta última estación y la obtenida en cinco temporadas en el campamento de Rancho Nuevo. También se analizaron las series de tiempo de temperatura y precipitación para detectar la presencia de ciclos y se discriminaron las variables más relevantes dentro de un conjunto de 12 variables meteorológicas medidas en las temporadas de desove entre 1978 y 1996.

En ese capítulo se infirió el efecto de tres eventos climáticos globales: El Niño-la Oscilación del Sur, el Patrón Pacífico-Norteamérica y la Oscilación del Atlántico Norte. Estos fenómenos se analizaron porque, además de influir sobre la playa de Rancho Nuevo, es posible que también modifiquen las condiciones de las áreas de alimentación y por lo tanto, el estado fisiológico de las hembras.

El tercer capítulo se dedica a la descripción de los patrones de distribución espacial y temporal de las tortugas sobre la playa; los análisis se hicieron en dos formas, en la primera se mostraron las variaciones de la población y de las arribaciones en 4 escalas de tiempo, para abordar diferentes aspectos de la biología reproductiva.

La segunda forma de análisis consistió en la revisión de las características individuales. Las tortugas se identificaron con marcas metálicas, por lo que se evaluó la eficiencia de estos artefactos con experimentos de doble marcado. En esta sección se incluyeron algunos aspectos de la biología reproductiva, tales como los ciclos de anidación dentro y entre las temporadas, la proporción de las hembras que desovaron más de una vez y los intervalos entre nidos consecutivos, así como la variabilidad de la distribución espacial de los nidos.

En el último capítulo se integró la información para determinar la relación del ambiente con algunos aspectos de la reproducción de la tortuga lora. Se elaboraron las curvas de respuesta de las hembras sobre gradientes del viento y de la temperatura superficial marina y del aire, para determinar los intervalos dentro de los cuales se presentó el mayor número de hembras sobre la playa. También se

evaluó la influencia de la temperatura superficial, del aire y del viento en el inicio de la temporada y se efectuaron los análisis de coherencia y de diferencia de fase entre las series de tiempo de la anidación, la temperatura, el viento y la precipitación para determinar la correlación entre las variables. Asimismo se plantearon hipótesis acerca de la influencia del patrón de corrientes y de la temperatura superficial marina en la llegada y salida de las hembras de la playa de Rancho Nuevo.

#### **Ubicación taxonómica:**

La ubicación taxonómica y la diagnosis son transcripciones de los textos incluidos en Márquez (1994) y en el plan de recuperación de la tortuga lora elaborado por el U.S. Fish and Wildlife Service (USFWS) y el National Marine Fisheries Service (NMFS) en 1992.

La tortuga lora fue descrita e identificada por Samuel Garman en 1880 como *Thalassochelys kempii*. Posteriormente, fue ubicada dentro del género *Lepidochelys* por Baur (1890) quien concluyó que esta especie y la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) eran congéneres. Algunos autores consideraron a *L. kempii* como una subespecie de *L. olivacea*, aunque otros las separaron (Bowen et al. 1991). Pritchard (1989) realizó una revisión taxonómica exhaustiva del género y encontró que había suficientes diferencias morfológicas para separarlas como especies distintas.

Phylum: Chordata  
Subphylum: Vertebrata  
Superclase: Tetrapoda  
Clase: Reptilia  
Subclase: Anapsida  
Orden: Testudinata  
Suborden: Cryptodira  
Superfamilia: Cheloniodea  
Familia: Cheloniidae  
Genero: *Lepidochelys*  
Especie: *kempii*

#### **Diagnosis**

En los adultos la vista dorsal del carapacho es semicircular, cuerpo deprimido, ligeramente más aplanado que en *Lepidochelys olivacea*, su amplitud (en línea recta) siempre es más del 90% de su longitud. La cabeza es relativamente pequeña (cerca del 20% de la longitud recta del carapacho), de forma triangular, con un pico córneo. La longitud del carapacho (SCL) varía entre 60 y 65 cm y el peso entre 30 y 45 Kg. El número usual de escudos del carapacho es el siguiente: 5 centrales, 5-5 laterales y 12-12 marginales; en el plastron tienen 4-4 inframarginales, cada uno con un pequeño poro hacia el margen posterior externo. Cada aleta en su parte media distal del borde anterior o de ataque tiene una uña bien desarrollada y otra pequeña, en posición más distal y casi oculta; los machos tienen las uñas más desarrolladas y fuertes así como una cola gruesa y larga. El patrón de coloración dorsal es olivogris a olivo-café y el ventral blanco-amarillento o crema.



## OBJETIVOS

### General

Determinar el efecto de algunas variables climáticas y oceánicas en la distribución espacial y temporal de las hembras de la tortuga marina *Lepidochelys kempi* (Garman, 1880) en la playa de Rancho Nuevo, Tamaulipas.

### Particulares

1. -Describir la distribución de la temperatura superficial marina de la zona de anidación de los corredores migratorios entre 1989 y 1993 y entre 1996 y 1998.
2. -Describir cualitativamente la circulación costera de Tamaulipas.
3. -Caracterizar las condiciones climáticas y meteorológicas de la playa de Rancho Nuevo en el período 1978-1998.
4. - Describir las variaciones de la distribución espacial y temporal de las hembras sobre la playa de Rancho Nuevo en el lapso 1978-1998.
5. - Establecer la posible relación entre las condiciones abióticas y las variaciones de la distribución de las hembras

## LITERATURA CITADA

- Baur, G 1890 The genera of the Cheloniidae. American Naturalist 24 486-487.
- Bowen, B., A. Meylan y J. Avise. 1991. Evolutionary distinctiveness of the endangered Kemp's ridley sea turtle. Nature 352:709-711
- Ibarra, T.M 1993 Efecto de las larvas de díptera sobre el huevo y crías en los nidos transplantados de tortuga marina lora *Lepidochelys kempi*, Garman, en la playa de Rancho Nuevo, Tamaulipas, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad del Noreste Tampico, Tams. 41 pp
- Márquez, R. 1996 Las tortugas marinas y nuestro tiempo. La Ciencia desde México. No. 144. Fondo de Cultura Económica. México. 197 pp.
- Marquez, R. 1994 Sinopsis de datos biológicos sobre la tortuga lora, *Lepidochelys kempi* (Garman 1880) FAO Sinopsis sobre la Pesca no. 152, Secretaría de Pesca. Instituto Nacional de la Pesca. 141 pp
- Pritchard, P. 1989 Evolutionary relationships, osteology, morphology, and zoogeography of Kemp's ridley sea turtle. In: C.W. Caillouet y A.M. Landry (Eds.). First international symposium on Kemp's ridley sea turtle biology, conservation and management. Texas A&M University, Galveston, Texas, October 1-4, 1985., TAMU-SG-89-105. pp 157-164
- U.S. Fish and Wildlife Service y National Marine Fisheries Service. 1992. Recovery plan for the Kemp's ridley sea turtle, *Lepidochelys kempi*. National Marine Fisheries Service; St. Petersburg, Florida.



# CAPITULO I

## CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ANIDACIÓN.

### CONTENIDO

RESUMEN .....	11
INTRODUCCIÓN.....	13
ANTECEDENTES .....	13
ZONA DE ESTUDIO.....	15
OBJETIVOS.....	15
MÉTODOS.....	16
RESULTADOS.....	18
<i>Distribución de la temperatura en el Golfo de México.</i> .....	18
<i>Distribución de la temperatura en la costa de Tamaulipas en las temporadas de anidación 1996-1998.</i> .....	19
<i>Tasa de calentamiento entre invierno y primavera en los corredores migratorios y la zona de anidación. Gradientes entre la costa y la zona oceánica.</i> .....	20
<i>Influencia de los eventos atmosféricos en la temperatura superficial marina.</i> .....	23
<i>Variaciones térmicas en la plataforma continental frente a Rancho Nuevo durante la temporada de anidación de la tortuga lora. Escala semanal.</i> .....	23
DISCUSIÓN .....	24
CONCLUSIONES.....	27
LITERATURA CITADA .....	27



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características de los anticiclones que se desprenden de la corriente de Lazo y que modifican las condiciones térmicas y la circulación costera del Norte y Noroccidente del Golfo.....	14
Tabla 1.2.- Características de las imágenes empleadas en el análisis. R. esp. resolución espacial (tamaño del pixel).....	17
Tabla 1.3 -Temperatura media registrada frente a la zona de anidación. Las negritas destacan el incremento de temperatura al desaparecer el frente térmico. Coordenadas: 23-24° N 97.25-98° O.....	19
Tabla 1.4.- Valor absoluto de las pendientes de los gradientes de temperatura. En junio de 1996 no fue posible elaborar promedios mensuales por lo que se utilizaron solo valores quincenales; en las semanas marcadas con NR la nubosidad fue muy elevada por lo que los gradientes no fueron representativos. 24	

## INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1.- Área de estudio. A) Golfo de México; B) Corredores migratorios. C) Playa de anidación.....	16
Fig. 1.2.- Variaciones anuales de la tasa de incremento de la temperatura (TC) entre invierno y primavera. ....	20
Fig. 1.3.- Imágenes mensuales de 1997. Resolución 4 km. Se muestran un anticiclón en el borde occidental del Golfo (A), la advección del agua de la plataforma de Texas y Luisiana (B), los meandros que muestran el desplazamiento de los anticiclones en la parte media del Golfo (C) y la penetración de la corriente de Lazo (D) .....	21
Fig. 1.4.- Frentes térmicos de primavera y verano de 1996 (A) y 1998 (B), destacados con el método de componentes principales. Los colores no representan valores de temperatura en las imágenes del primer componente. Las semanas intermedias son de transición y no fueron procesadas; su escala de temperaturas se muestra en el Apéndice A.....	22
Fig. 1.5.- Variación semanal de la temperatura superficial marina entre la tercera semana de marzo y la cuarta de julio del periodo 1996-1998. ....	23



## RESUMEN

*El objetivo de este capítulo fue describir las variaciones en el espacio y el tiempo, de la temperatura superficial marina en la plataforma continental comprendida entre los paralelos 21 y 27° N en el período 1989-1993, así como entre los paralelos 23 y 24° N entre 1996 y 1998. A partir de este análisis se describió cualitativamente el sistema de corrientes costeras. En el área de estudio se encuentran la zona de anidación y una porción de los corredores migratorios de los adultos y crías de Lepidochelys kempi.*

*La descripción de las corrientes fue realizada a partir de la fotointerpretación y el procesamiento digital de las imágenes mensuales y semanales de la temperatura superficial marina captadas por el sensor AVHRR instalado en los satélites NOAA 12 y NOAA 14.*

*La circulación sobre la plataforma de Tamaulipas presentó variaciones estacionales. En el invierno y el principio de la primavera, la dirección de la corriente costera fue hacia el Sur, forzada por los vientos del Norte y la circulación ciclónica de la plataforma Texas-Louisiana. En contraste, en el borde de la plataforma la corriente se dirigió al Norte, impulsada por la presencia semipermanente de los giros anticiclónicos en esa área. Durante el final de la primavera y el verano, la circulación cerca de la costa se invirtió como resultado de la influencia de la circulación anticiclónica y de la instauración del régimen de los vientos alisios, los cuales provienen del E y SE.*

*Es probable que las modificaciones en el patrón de corrientes costeras favorezcan el desplazamiento de las hembras desde el Norte del Golfo de México hacia Rancho Nuevo entre febrero y abril, y en sentido inverso entre junio y septiembre.*

*La temperatura sobre la plataforma continental ubicada entre los paralelos 21 y 27° N presentó diferencias significativas entre los 5 años analizados. Los más cálidos fueron 1990-1992 y los más fríos 1989 y 1993. En los transectos ubicados al Norte del paralelo 24° N, los gradientes entre la costa y la zona oceánica fueron mayores y el incremento de temperatura entre invierno y verano fue más rápido que al Sur de ese paralelo, pero los cambios entre los años no fueron significativos. En contraste, al Sur del paralelo 24° N, la tasa de incremento fue menor, los cambios entre años fueron significativos y los gradientes fueron pequeños.*

*Entre los paralelos 23 y 24° N las condiciones térmicas fueron más constantes que en el resto del área analizada, lo que posiblemente favoreció el establecimiento de la colonia de tortuga lora en esa zona.*

*La temperatura semanal en la zona de anidación fue menor en 1996 y mayor en 1997 y 1998. La temperatura superficial fue más homogénea en 1998, por lo que los gradientes térmicos sobre la imagen fueron pequeños.*



## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales obstáculos en el estudio de los ciclos de vida de *Lepidochelys kempi* es el seguimiento de los individuos después de que abandonan la playa de anidación. El costo de las marcas de radio y satélite hace prohibitivo su uso en grandes cantidades y en organismos pequeños; una opción es describir la distribución de la temperatura superficial marina en las inmediaciones de la zona de anidación asumiendo que la abundancia y distribución, así como algunos aspectos de su biología reproductiva están estrechamente relacionados con esta variable (Casas-Andreu, 1978; Coyne et al., 1998; Morreale y Standora, 1999).

Por otra parte, las variaciones en el tiempo de la distribución de la temperatura muestran algunas características de las corrientes superficiales, las cuales influyen en la dispersión de los neonatos de *L. kempi* y otras especies (Collard, 1987; Collard y Ogren, 1990; Lohman y Lohman, 1996; Pilcher y Enderby, 1998) y favorecen el desplazamiento de los adultos (Wyneken, 1997).

La descripción de las corrientes marinas y de la distribución de la temperatura superficial marina de la plataforma de Tamaulipas es escasa (Fernández-Eguiarte et al., 1998); no obstante, los levantamientos oceanográficos son costosos por lo que es necesario buscar técnicas alternativas. El análisis de las imágenes infrarrojas del sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), instalado en satélites meteorológicos de la serie NOAA, revela las corrientes de frontera, la formación de los giros, el flujo paralelo a la costa y las corrientes que atraviesan el talud en el NO del Golfo en meso y submesoescala (Müller-Karger y Walsh, 1991; Fernández-Eguiarte et al., 1998; Barron Jr y Vastano, 1994; Vastano et al., 1995, entre otros). Aunque éstas imágenes sólo captan la temperatura de la capa de "piel", son capaces de registrar las estructuras dinámicas mencionadas, las cuales afectan a una gran proporción de la columna de agua.

Sobre esta base, en este Capítulo se describen las variaciones espacio-temporales de la temperatura superficial marina en la plataforma continental mexicana comprendida entre los paralelos 21 y 27° N entre los años 1989-1993 y 1996-1998. A partir de las cuales se pretende describir cualitativamente el sistema de corrientes costeras. Se escogió esta área considerando que en ella se encuentran la zona de anidación y una porción de los corredores migratorios de los adultos de *L. kempi*.

## ANTECEDENTES

Las corrientes costeras de la plataforma continental de Tamaulipas están relacionadas con la circulación de mesoescala del Golfo de México, cuyos mecanismos pueden resumirse en:

1 - Las variaciones cuasianuales de la corriente de Lazo y de las masas de agua de circulación anticiclónica<sup>1</sup> que se desprenden de ella (Elliot, 1982). Estos giros atraviesan el Golfo hasta colisionar con las plataformas del Oeste y Noroeste, en donde se desvanecen (Smith, 1986; Oey, 1995). En los bordes de estas estructuras es frecuente que se formen remolinos ciclónicos<sup>2</sup>, de elevada productividad (Merrell y Vázquez, 1983; Vidal et al., 1992; Biggs, 1992).

<sup>1</sup> Zonas de convergencia con circulación en el sentido de las manecillas del reloj, transportan masas pobres en nutrientes, pero de agua de elevada temperatura y salinidad.

<sup>2</sup> Zonas de divergencia con circulación contraria a las manecillas del reloj, con alto contenido de nutrientes y baja salinidad y temperatura.

2.- Los cambios estacionales en el esfuerzo y el rotacional del viento. En el invierno los frentes y las masas de aire frío (“Nortes”) determinan la variabilidad sinóptica, mientras que en el verano dominan los vientos alisios y la cuenca sólo es afectada por las tormentas tropicales y los huracanes (Gutiérrez de Velasco, 1996). Algunos fenómenos de escala global como El Niño-la Oscilación del Sur, disminuyen la temperatura e incrementan la frecuencia y fuerza de los frentes polares (White y Downton, 1991).

Estos mecanismos determinan los sistemas de circulación de las diferentes regiones del Golfo. Así por ejemplo, en el Norte del Golfo, la circulación de baja frecuencia<sup>3</sup> de la plataforma continental de Louisiana y Texas (L-T) cambia estacionalmente dependiendo del régimen dominante de vientos. En el invierno está determinada por un giro ciclónico, limitado por una convergencia de corrientes costeras en el Oeste y una divergencia en el Este. El aporte fluvial y estuarino afecta la porción costera de este giro (Barron y Vastano, 1994; Vastano y Barron, 1994; Vastano *et al.*, 1995), mientras que sobre el talud influyen los giros anticiclónicos (Cochrane y Kelly, 1986; Oey, 1995; Yongxiang *et al.*, 1996; Li *et al.*, 1997). En el verano este giro es reemplazado por un anticiclón centrado en la plataforma de Louisiana (Cochrane y Kelly, 1986).

En el Centro del Golfo se presenta un giro denominado el “Anticiclón Mexicano” (Vázquez de la Cerda, 1975), favorecido por el aporte periódico de los remolinos que se desprenden de la corriente de Lazo (Merrell y Morrison, 1981). Por otra parte, en la Bahía de Campeche existen dos tipos de circulación (Scheinbaum *et al.*, 1997); entre el otoño y el inicio de la primavera el patrón es ciclónico y se presenta con mayor intensidad en el Oeste (Monreal y Salas, 1990; Vázquez de la Cerda, 1993). En el verano el sistema dominante es Este-Oeste, determinado por los anticiclones. La frontera Norte de este sistema se localiza en las inmediaciones de la laguna de Tamiahua (Veracruz).

En el Este se presenta la corriente de Lazo, de la que se desprenden los giros anticiclónicos (Elliot, 1982; Pica y Pineda, 1991), algunas de cuyas características se enlistan en la Tabla I.1. Cuando estas estructuras colisionan con el talud del extremo Occidental, frecuentemente siguen su contorno (Smith, 1986; Sturges, 1993) hacia la plataforma de Texas en donde se desvanecen (Vidal *et al.*, 1988; Oey, 1995).

Tabla I.1.- Características de los anticiclones que se desprenden de la corriente de Lazo y que modifican las condiciones térmicas y la circulación costera del Norte y Noroccidente del Golfo.

Característica	Periodicidad	Autor
Periodicidad con la que se forman	8-17 meses; prom. 12 meses	Vukovich <i>et al.</i> (1979); Vukovich (1988); Elliot (1982); Monreal (com. pers.)
Velocidad de desplazamiento	3 meses 3.7-5.7 km / día 2.1 km / día	Cochrane (1972) Elliot (1982)
Duración del desplazamiento entre el E y O del Golfo	6-8 meses	Cochrane (1972); Elliot (1982)
Diámetro en el NO	225 km (N-S) 450 (E-O) ≈220 km	Merrell y Morrison (1981) y Merrell y Vázquez (1983) Brooks (1984)
Permanencia en el NO del Golfo	2-4 meses	Elliot (1982)

<sup>3</sup> La circulación de baja frecuencia hace referencia a los procesos de carácter geostrofico, excluye a las corrientes de corta duración, como las de marea.

La interacción de los anticiclones con el talud del Occidente del Golfo favorece la manifestación de un frente térmico (Vidal et al., 1992; Glenn y Ebbesmeyer, 1993), de poco más de 500 km de longitud, entre Tamaulipas y el Sur de Texas (Behringer et al., 1977), asociado con una corriente que se aleja de la costa, con dirección NE y un volumen equiparable al de la corriente de Florida (Brooks y Legeckis, 1982). Esta estructura también ha sido relacionada con la influencia del viento; por lo que según Howard et al. (1996), indica la presencia de un afloramiento.

A diferencia de la circulación de mesoescala, descrita en párrafos anteriores, las corrientes costeras de la plataforma continental mexicana están pobremente descritas (Fernández-Eguiarte et al., 1998); no obstante, Zavala-Hidalgo et al. 2002, señalan que hay un fuerte componente estacional en la circulación, por lo que "en primavera y en verano, la circulación dominante al sur del paralelo 27°N es hacia el Norte, empezando en marzo y abril. A principios de septiembre la circulación se revierte en el sentido de las manecillas del reloj. Las velocidades son de aproximadamente 50 cm/seg y el transporte entre la costa y la isobata de 50 m varía entre 0 l y 0.5 Sv. La mayor parte de la señal estacional está confinada al área entre la costa y la isobata de 50 m. Al Sur de los 26°N la señal puede llegar a la isobata de 200 m, mientras que en otoño e invierno puede alcanzar la Bahía de Campeche". Esta descripción, obtenida por los autores a partir del Navy Coastal Ocean Model (NCOM), coincide con las mediciones de la Comisión Federal de Electricidad (1993). Ellos encontraron que la dirección dominante de la corriente costera de Tamaulipas era hacia el Norte y que se invertía durante el invierno. Por el contrario, el rumbo de la corriente litoral, esto es la que se manifiesta entre la primera línea de la rompiente y la orilla de la playa, era hacia el Sur y sólo de mayo a julio era al Norte.

## ZONA DE ESTUDIO

Se trabajó en tres escalas (Fig. 1.1).

- 1.- Golfo de México comprendido entre las coordenadas 18-30° N y 85-98° O.
- 2.- Costa Occidental y Noroccidental del Golfo incluida entre las coordenadas 20-30° N y 94-98° O
- 3.-La zona de anidación, que abarca el área entre las coordenadas 23-24° N y 97.25-98° O.

## OBJETIVOS

Describir cualitativamente la circulación de mesoescala y costera en la zona de anidación de la tortuga lora

Detectar los frentes, los gradientes térmicos y la tasa a la cual se eleva la temperatura superficial marina en la zona de anidación comprendida entre Barra del Tordo y Soto la Marina, así como en las áreas que sirven como corredores migratorios ubicados sobre la plataforma continental y delimitados por los paralelos 21 y 27° N.

Describir las variaciones mensuales de los frentes y los gradientes térmicos en el intervalo 1989-1993, con énfasis en el periodo invierno -primavera

Describir las fluctuaciones semanales de la temperatura superficial marina, los frentes y los gradientes térmicos en la temporada de anidación que comprende de la tercera semana de marzo a la cuarta semana de julio.

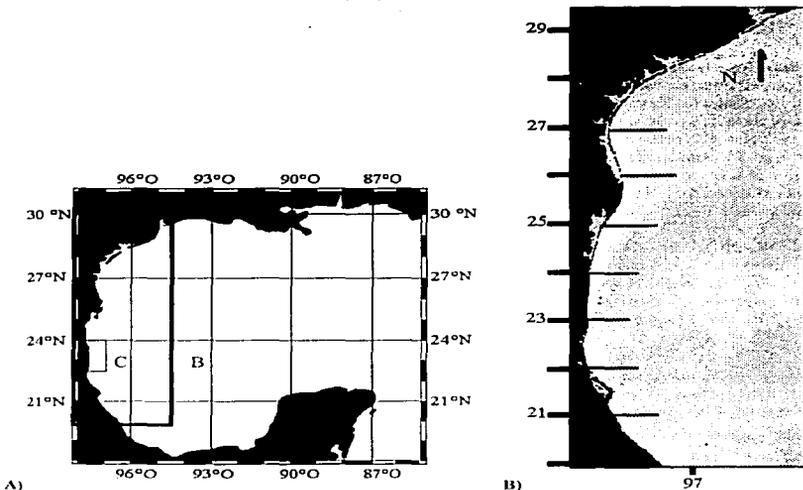


Fig. 1. 1.- Área de estudio. A) Golfo de México; B) Corredores migratorios. C) Playa de anidación.

## MÉTODOS

La descripción cualitativa de la circulación y la obtención de los datos de temperatura superficial se realizó con imágenes térmicas obtenidas por el sensor AVHRR- NOAA. Se utilizaron cinco tipos de imágenes (Tabla I.2), las obtenidas de los archivos de la National and Oceanographic Atmospheric Administration (NOAA) fueron tipo "equal angle best SST". El resto fue proporcionado por el Instituto de Geografía (I.G.) de la UNAM y a través de un convenio entre el Instituto Nacional de la Pesca (INP) y el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL) de la UNAM.

El periodo 1989-1993 fue utilizado porque la distribución temporal de las anidaciones sobre la playa varió significativamente (Ver Capítulo III) y se presentaron La Niña (1989) y El Niño

(1991-1992), eventos que afectan la temperatura del Norte del Golfo de México (White y Downton, 1991; Gutiérrez de Velasco, 1996).

En las imágenes de tipo 1 (Tabla 1.2), la temperatura superficial marina se obtuvo a partir de la función descrita por Vázquez *et al.* (1995), mientras que en el resto se utilizó el algoritmo de Monaldo (1996), incorporado en el sistema TeraScan.

**Tabla 1.2.- Características de las imágenes empleadas en el análisis. R. esp. resolución espacial (tamaño del píxel).**

Tipo	No.	Lapso	Periodicidad	R. esp. (km)	Precisión ( $^{\circ}$ C)	Fuente	Coordenadas
1	60	I/1989-XII/1993	mensual	9	0.3	NOAA	18-30° N 85-98° O
2	3	IV/1996-VI/1996	mensual	1.1	0.4	I. G.	20-30° N 94-98° O
3	21	IV/1996-XII/1997	mensual	4	0.5	INP/ICMyL	20-30° N 94-98° O
4	48	IV-VII 1996-1998	semanales	1.1	0.5	INP/ICMyL	20-30° N 94-98° O
5	48	IV-VII 1996-1998	semanales	1.1	0.5	INP/ICMyL	23-24° N 97 25-98° O

El análisis se hizo en dos etapas. La primera consistió en la fotointerpretación de las imágenes tipo 1 y 4, para identificar las estructuras dinámicas, se aplicaron filtros de mediana para realzar el contraste (Chuvieco, 1990; Richards, 1986), así como el análisis de componentes principales (ACP) a las imágenes secuenciales para detectar las estructuras con mayor permanencia a lo largo del tiempo (Hair *et al.*, 1995; Eastman, 1997).

Las imágenes tipo 2, 3 y 4 fueron comparadas visualmente con los mapas de la altitud de la superficie marina, obtenidas por el altímetro del satélite ERS1 y disponibles en la página WEB de la Universidad de Colorado, para comparar la posición de los frentes con la de los giros.

La segunda etapa incluyó los análisis estadísticos de las imágenes tipo 1 y 4, con el propósito de obtener indicadores para relacionar con la abundancia de los nidós. Se trazaron transectos perpendiculares a la costa, entre los paralelos 21 y 27 °N, para extraer los valores de las imágenes con el Programa IDRISI v2 para Windows. Los métodos estadísticos se desarrollaron con los programas STATISTICA (v. 4.5 de StatSoft Inc.) y SPSS (8.0 v. Windows de SPSS Inc.)

La temperatura superficial promedio mensual del Golfo y de los transectos, así como la del intervalo marzo - julio, fue comparada con análisis de varianza de una vía (ANDEVA) y el método de comparaciones múltiples de Duncan (Montgomery, 1984). La temperatura promedio mensual de cada transecto se interpoló en un diagrama de superficie con el método de triangulación, incluido en el programa Surtfer (Win 32) v. 6.01 (Golden Software Inc., 1995). Los gradientes y las tasas de cambio de las imágenes tipo 1, se estimaron a partir de la pendiente de ecuaciones de regresión lineal simple, aplicadas a los valores de los transectos y a los promedios mensuales de cada transecto en el intervalo enero-julio, respectivamente. Estos parámetros se compararon entre sí con análisis de covarianza.

En las imágenes semanales (tipo 5) se calcularon el promedio y la desviación estándar. Con el primero se describieron las variaciones semanales durante la temporada de anidación y se estimó el efecto de la nubosidad, a partir de la proporción de la imagen cubierta por nubes.

Los frentes y gradientes térmicos entre píxeles vecinos, se analizaron con los filtros de convolución Laplaciano y Sobel (Chuvieco, 1990; Richards, 1986). Los resultados de éste último se compararon con un análisis de regresión simple del logaritmo natural de las frecuencias obtenidas en cada imagen (Ver Apéndice A). Este análisis se hizo sobre la base de que la magnitud del valor absoluto de la pendiente es inversamente proporcional a la distribución de frecuencia de los gradientes. Las pendientes se contrastaron, con los análisis de covarianza y de comparaciones múltiples de Newman-Keuls (Zar, 1974).

## RESULTADOS

### *Distribución de la temperatura en el Golfo de México.*

En las imágenes térmicas del periodo comprendido entre el otoño y la primavera, fue posible distinguir las variaciones de la corriente de Lazo, los frentes y las diferencias regionales. A partir de mayo la temperatura superficial se homogeneizó paulatinamente, por lo que sólo se distinguieron algunos frentes cercanos a las costas de Tamaulipas y Yucatán. Las temperaturas más elevadas se registraron en el estrecho de Yucatán, por donde penetra la corriente de Lazo.

La fotointerpretación de las imágenes permitió distinguir dos regiones, separadas por una línea diagonal imaginaria, cuyos extremos se localizaron en las cercanías de los 23° N en la costa de Tamaulipas y el borde superior de la corriente de Lazo. En Tamaulipas, muy cerca de esa línea, se apreció un frente, cuyo rumbo varió entre unos cuantos grados con dirección ENE al final del invierno, hasta parecer casi paralelo a la costa en el verano.

La temperatura disminuyó entre la zona oceánica y la costa de 2 a 3 °C en el Norte del Golfo. El gradiente fue más notable entre noviembre y abril, cuando el ciclón de la plataforma de Texas y Louisiana estuvo más desarrollado (Cochrane y Kelly, 1986). Por el contrario, la temperatura fue mayor al Sur de los 23 °N y el gradiente entre la costa y la zona oceánica sólo fue evidente al final de la primavera. En el centro del Golfo se observaron algunos meandros que reflejaron el traslado de los anticiclones hacia el occidente (Elliot, 1982; Brooks, 1984; Hamilton, 1992).

En el margen occidental del Golfo, en la mayoría de las imágenes de primavera (e.g. abril de 1990 y 1991) se apreciaron los giros anticiclónicos, como estructuras semicirculares y elípticas, cuya temperatura fue mayor en el interior que en la periferia (Fig. 1.2). Las variaciones en la forma de los giros permitió seguir su trayectoria después de interaccionar con la plataforma, en algunos casos, estos remolinos se desplazaron hasta la esquina Noroccidental del Golfo.

La presencia constante de anticiclones en las inmediaciones de la zona de anidación durante la primavera del periodo 1989-1993, coincide con lo señalado por algunos autores (Monreal y Aldeco, com. pers.). Al iniciar el verano y homogeneizarse la temperatura superficial, los giros desaparecieron de las imágenes térmicas, pero continuaron siendo evidentes en los mapas altimétricos.

**Distribución de la temperatura en la costa de Tamaulipas en las temporadas de anidación 1996-1998.**

En las imágenes semanales la característica más evidente fue un frente térmico con dirección NE, cuyo vértice se ubicó entre los paralelos 22-24° N en las inmediaciones de la costa (Fig. 1.3A). En esas imágenes se presentó una diferencia positiva de 2 a 3 °C entre las zonas costera y oceánica. En marzo y abril el frente estuvo bien definido y siguió el contorno del talud entre los paralelos 23 y 27 °N. Hubo algunas diferencias interanuales determinadas por el contraste de la temperatura sobre las imágenes; así por ejemplo, en 1998, cuyo invierno fue relativamente templado, el frente fue menos evidente que en 1996 y 1997 que fueron años más fríos.

El frente y el gradiente térmico desaparecieron en algunas semanas de mayo (Figs. 1.3A y B). En ese periodo, la temperatura se incrementó aproximadamente dos grados en las inmediaciones de la zona de anidación (coordenadas 23-24 °N y 97.25-98 °O), mientras que en semanas previas las diferencias habían sido menores a 1.2°C (Tabla 1.3).

**Tabla 1.3.- Temperatura media registrada frente a la zona de anidación. Las negritas destacan el incremento de temperatura al desaparecer el frente térmico. Coordenadas: 23-24° N 97.25-98° O**

semana	1996			1998		
	media	desv.	Píxeles (N)	media	desv.	Píxeles (N)
-2	19.76	2.038	4095	21.6	0.878	4017
-1	19.88	1.39	3988	21.92	1.053	4177
1				22.32	0.631	4169
2	20.54	1.154	1345	23.25	0.538	4148
3	21.01	1	3832	22.72	0.964	4174
4	22.27	1.09	2344	23.14	0.648	4177
5	21.16	1.45	3734			
6	<b>24.41</b>	<b>0.99</b>	<b>3881</b>	<b>24.46</b>	<b>0.682</b>	4176
7	24.59	1.16	3751	25.05	0.64	4176
8	24.412	1.85	4087	26.08	0.68	4176
9	26.09	1.13	3900	26.46	0.99	4161
10				25.95	1.778	4176
11	26.84	1.25	4094	27.14	1.399	4135
12				27.06	1.073	4165

El frente reapareció en la tercera o cuarta semana de mayo, pero más cercano a la costa. La forma de pluma y su orientación NE indican el rumbo Norte y Noreste de la corriente. En junio y julio presentó pocos cambios, puesto que la correlación entre las imágenes fue significativa en las dos temporadas ( $r > 0.9$ ,  $p < 0.01$ ) y las diferencias de temperatura fueron menores a 1°C en las inmediaciones de la playa de anidación.

**Tasa de calentamiento entre invierno y primavera en los corredores migratorios y la zona de anidación. Gradientes entre la costa y la zona oceánica.**

En la plataforma continental comprendida entre los paralelos 21 y 27 °N, la temperatura varió entre 17.6 y 27.5 °C entre enero y julio. Las comparaciones mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los intervalos enero-marzo y mayo-junio. En el primero las temperaturas más elevadas se encontraron en 1989 y 1993, mientras que en el segundo en 1991. También se registraron diferencias latitudinales ( $F = 5.03$ ;  $g.l. 6,410$ ;  $p < 0.01$ ), ya que la temperatura fue menor al Norte del paralelo 24 °N, que al Sur de esa latitud.

En los años analizados las tasa de incremento de la temperatura (TC) entre invierno y primavera se estimaron entre 1.035 °C / mes y 1.085 °C / mes (Ver Apéndice A). Las TC presentaron cambios latitudinales, por lo que los valores más bajos se obtuvieron en el paralelo 21 (1.035-1.058 °C / mes) y los más altos en el 27 (1.060-1.085 °C / mes). Según los análisis estadísticos, las TC de los paralelos 25 al 27 no fueron significativamente diferentes entre ellas, aunque sí de las estimadas hacia el Sur del paralelo 24.

Las comparaciones entre años indican que las TC de 1989 y 1993 fueron menores ( $< 0.05$ ) que las del lapso 1990 y 1992 en casi todos los paralelos, excepto en el 24 °N, en donde las diferencias no fueron significativas (Fig. 1.4). En el paralelo 25 la TC de 1992 fue elevada y reflejó la proximidad de una estructura cálida al borde externo de la plataforma.

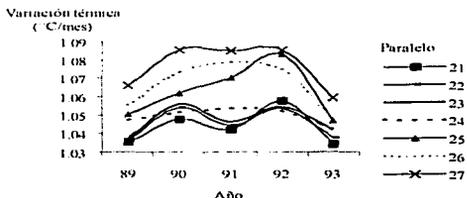
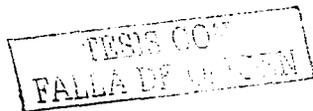


Fig. 1.2.- Variaciones anuales de la tasa de incremento de la temperatura (TC) entre invierno y primavera.

La magnitud de los cambios de temperatura entre meses consecutivos ( $\Delta T_m$ ) fue mayor en primavera, particularmente entre abril y mayo cuando fluctuaron entre 1.86 y 2.83 °C / mes en promedio. Las  $\Delta T_m$  mayores se obtuvieron en 1991 (promedio = 2.41 °C / mes) y las mínimas en 1993 (promedio = 1.48 °C / mes), aunque éste último fue el único significativamente diferente.

Los gradientes térmicos a lo largo de los paralelos (G) presentaron diferencias latitudinales y temporales; en los paralelos ubicados al Norte del 24, fueron mayores que al Sur de ese paralelo, en especial en febrero y marzo, a partir de abril disminuyeron paulatinamente, por lo que en junio desaparecieron y reaparecieron en julio.



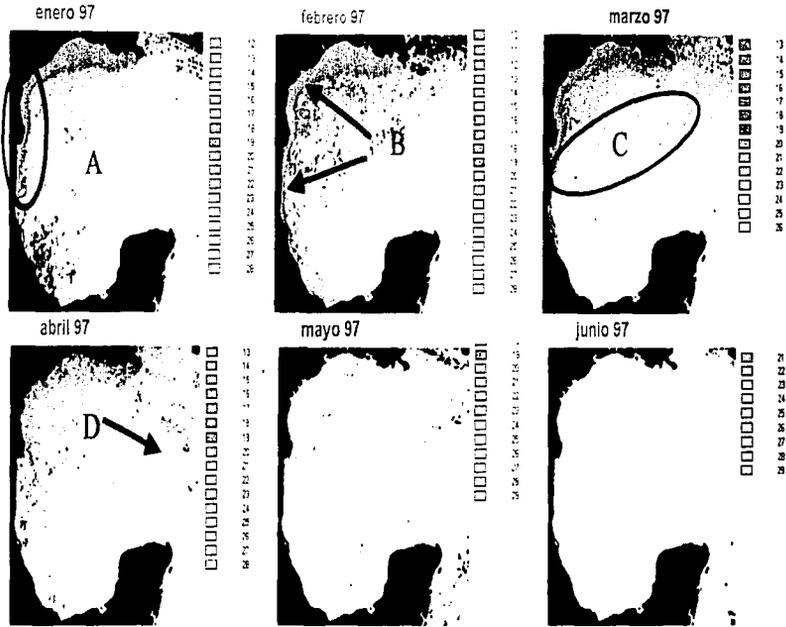
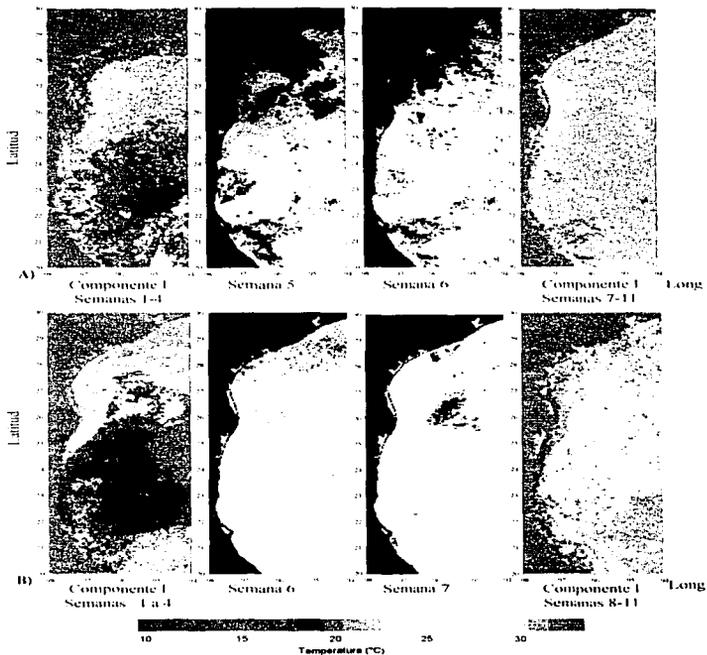


Fig. 1.3.- Imágenes mensuales de 1997. Resolución 4 km. Se muestran un anticiclón en el borde occidental del Golfo (A), la advección del agua de la plataforma de Texas y Luisiana (B), los meandros que muestran el desplazamiento de los anticiclones en la parte media del Golfo (C) y la penetración de la corriente de Lazo (D).



**Fig. 1.4.-** Frentes térmicos de primavera y verano de 1996 (A) y 1998 (B), destacados con el método de componentes principales. Los colores no representan valores de temperatura en las imágenes del primer componente. Las semanas intermedias son de transición y no fueron procesadas, en la escala se muestra la temperatura.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los gradientes del intervalo 25 - 27 °N fueron más acusados en el invierno (febrero- marzo) que al final de la primavera (mayo-julio). En el paralelo 24, las características invernales se prolongaron hasta mayo, mientras que al sur del paralelo 23 las diferencias fueron menos notorias.

#### *Influencia de los eventos atmosféricos en la temperatura superficial marina.*

Los análisis de regresión lineal y de correlación cruzada de las temperaturas promedio de los transectos 21 a 27 del intervalo 1989-1993 con el MEI sólo fueron significativos con los datos del paralelo 23 y los valores desfasados (+4) del índice, pero el coeficiente de determinación fue muy bajo ( $r^2 = 0.071$ ,  $p = 0.048$ ) y el signo de la pendiente fue positivo.

Es probable que la serie de tiempo haya sido insuficiente para detectar la influencia de este evento sobre la plataforma de Tamaulipas, aunque también es factible que el efecto del Niño del invierno 1992-1993 haya sido menos conspicuo, como lo indica Gutiérrez de Velasco (1996), particularmente comparado con el de 1982-1983.

#### *Variaciones térmicas en la plataforma continental frente a Rancho Nuevo durante la temporada de anidación de la tortuga lora. Escala semanal.*

La temperatura semanal de la temporada de anidación fue analizada en las imágenes tipo 5. La temperatura media fue menor en 1996 ( $24.1 \pm 3.05$  °C), que en 1997 y 1998, que no fueron significativamente diferentes ( $25.3$  °C en promedio). Los registros se encontraron entre  $19.7$  y  $28.1$  °C (Fig. 1.5). La variable presentó algunos cambios bruscos durante este lapso, particularmente a finales de abril y mediados de mayo, cuando variaron entre  $-1.11$  y  $3.25$  °C/semana; sin embargo, la tasa de incremento semanal no mostró diferencias significativas entre los años.

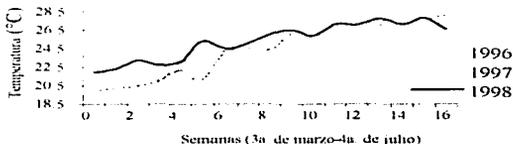


Fig. 1.5.- Variación semanal de la temperatura superficial marina entre la tercera semana de marzo y la cuarta de julio del período 1996-1998.

En algunas imágenes semanales de 1996 y 1997 la proporción cubierta por nubes fue elevada; mientras que en 1998, fue menor al 1%. Sin embargo, la nubosidad no estuvo relacionada con la temperatura ( $r^2 = 0.01$ ,  $p = 0.7$ ).

En las imágenes semanales tipo 5 de 1996 y 1998, se utilizó el filtro Sobel para estimar la tasa promedio de cambio de temperatura entre pixel y pixel (Tabla 1.4). En 1996 el valor absoluto de

las pendientes se encontró entre 1.04 y 3.78 y se incrementó cuando se uniformizó la temperatura al final de la primavera.

Las pendientes calculadas en 1998 variaron entre 2.42 y 9.54. Los análisis estadísticos permitieron reunir las en 7 grupos. Las pendientes más grandes se detectaron en las dos primeras semanas de abril y las dos últimas de mayo, cuando las condiciones fueron más uniformes, mientras que las más pequeñas se obtuvieron en junio y julio, cuando el frente térmico estuvo más cercano a la costa.

Tabla 1.4.- Valor absoluto de las pendientes de los gradientes de temperatura. En junio de 1996 no fue posible elaborar promedios mensuales por lo que se utilizaron solo valores quincenales; en las semanas marcadas con NR la nubosidad fue muy elevada por lo que los gradientes no fueron representativos.

Sem	Mes	Sem*	Pendientes (96)	r <sup>2</sup> ajustada (96)	Temp. Prom.	Gpo.	N	Pendientes (98)	r <sup>2</sup> ajustada (98)	Temp. Prom.	Gpo.	N
0	3	4	2.61	0.71	19.88	1	21	3.60	0.90	21.92	6	20
1	4	1	NR				44	9.54	0.64	22.32	1	7
2	4	2	NR					7.84	0.67	23.25	2	7
3	4	3	1.30	0.60	21.01	3	24	3.48	0.94	22.72	6	21
4	4	4	NR					4.50	0.91	23.14	5	13
5	5	1	1.56	0.78	21.16	2	31	NR				
6	5	2	2.85	0.85	24.41	1	23	4.31	0.92	24.46	5	15
7	5	3	1.97	0.85	24.59	2	30	7.08	0.40	25.05	2	6
8	5	4	1.36	0.89	24.41	3	43	6.51	0.92	26.08	3	12
9	6	1	3.24	0.93	26.09	1	19	5.03	0.96	26.46	5	15
10	6	2	NR					2.42	0.92	25.95	7	27
11	6	3	3.07	0.78	26.84	1	21	4.85	0.95	27.14	5	14
12	6	4	NR					3.19	0.95	27.06	6	22
13	7	1	1.04	0.59	27.03	3	22	4.52	0.93	27.73	5	15
14	7	2	3.45	0.92	27.78	1	19	3.07	0.95	27.20	6	22
15	7	3	1.97	0.84	27.65	2	28	5.68	0.94	27.79	4	13
16	7	4	3.71	0.95	28.13	1	18	2.93	0.93	26.57	6	23

\*Orden de la semana dentro del mes correspondiente.

El número de intervalos de frecuencia, el valor absoluto de las pendientes y los coeficientes de determinación fueron menores en 1996 que en 1998 (Tabla 1.4), lo cual fue un indicador de que en ese último año la temperatura superficial fue más homogénea.

## DISCUSIÓN

La resolución espacial y temporal de esas imágenes y la falta de información de campo, no permite describir cuantitativamente el sistema de corrientes litorales y de mesoescala. Sin embargo es factible elaborar una descripción cualitativa acorde con lo descrito por Brooks y Legeckis (1982), la Comisión Federal de Electricidad (1993), Vidal et al. (1992), Fernández -Eguarte et al. (1998) y Zavala (2002). Esto permite suponer que la circulación de la plataforma continental comprendida entre los paralelos 21-27° N presentó variaciones estacionales determinadas por la interacción de fenómenos oceánicos y meteorológicos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En el invierno es probable que la circulación costera tenga dirección Sur, impulsada por el patrón general de vientos<sup>1</sup> (E, NE) prevaleciente y los Nortes. En este periodo el giro ciclónico de la plataforma continental de Texas y Louisiana está bien desarrollado y favorece la advección hacia el sur del agua de los ríos Mississippi, Atchafalaya y Bravo. Por el contrario, en el borde de la plataforma la corriente fluye al Norte favorecida por la interacción constante con los anticiclones.

En esos meses la temperatura en la costa es más baja porque el agua proveniente del Norte (de la desembocadura de los ríos Bravo y Soto la Marina, por ejemplo) es más fría y también porque la capa de mezcla en las inmediaciones de la costa pierde calor a mayor velocidad en la zona oceánica, especialmente cuando pasan los frentes fríos (Mann y Lazier, 1996). Esto favorece la presencia de un frente coincidente con el límite de la plataforma y puede ser una explicación de las diferencias en la ubicación de los frentes de invierno-primavera y verano

La interacción de los anticiclones con el talud estimula la formación de giros ciclónicos, los que a su vez también son impulsados por el paso de los Nortes. Esto facilita la salida de agua de la plataforma hacia el océano en la frontera entre los giros ciclónico y anticiclónico, la cual se ha localizado al Sur del Río Bravo en la mayoría de las imágenes. El delta de este río favorece la intrusión de la corriente hacia la plataforma continental texana.

En abril o mayo, es probable que la pluma sea menos conspicua porque al cambiar el régimen de vientos y disminuir la influencia de los Nortes, se reduce la advección hacia el Sur y la pérdida de calor en la capa de mezcla. A esto hay que agregar que en ese periodo se contrae el giro ciclónico en la plataforma de Texas y Louisiana, lo que limita el aporte de agua fría de esa zona y de la desembocadura de los ríos hacia el Sur de Tamaulipas. Por otra parte, al disminuir la presencia de los Nortes también es probable que la circulación anticiclónica invada, en alguna medida, la plataforma continental, particularmente si coincide con la llegada de alguno de los giros provenientes del Este del Golfo, como aparentemente ocurrió en 1998.

Fernández-Eguarte et al. (1998) señalan que la desaparición del frente es simultánea al relajamiento de la corriente sobre la plataforma con rumbo Sur, que eventualmente conduce a un cambio de rumbo de 180°. Es probable que el frente se haya recorrido al Norte al debilitarse el ciclón T-L (Lewis et al., 1989) y reducirse la advección de Texas hacia la costa nororiental mexicana.

Durante la temporada de anidación, que abarca el final de la primavera y el verano, concluye el régimen de circulación invernal y hay un lapso de transición, previo al establecimiento del veraniego.

En el verano, la constancia de los alisios favorece la circulación hacia el Norte (Fernández-Eguarte et al. (1993) y un afloramiento moderado (Howard et al., 1996, Aldeco, com pers.). Este fenómeno es favorecido por la presencia cuasipermanente de los giros anticiclónicos, puesto que la interacción entre éstos y los ciclones que se forman en sus fronteras, favorece la emergencia de agua subsuperficial (Monreal, com. pers.).

Cuando reaparece la pluma, el sentido dominante de la corriente es hacia el Norte. Ese frente se encuentra más cercano a la costa y posiblemente con una mayor velocidad de flujo gracias a la influencia eólica y marina, aunque esto no puede comprobarse con estas herramientas. Entre

<sup>1</sup> En este texto la dirección de viento hace referencia al origen, así por ejemplo, los alisios provienen del Este y se dirigen hacia el Oeste.



octubre y noviembre vuelve a cambiar el régimen de vientos, lo que reduce la manifestación de la pluma. Posteriormente reaparece el patrón de circulación invernal.

Como se ha señalado en los antecedentes, la temperatura superficial marina está asociada con eventos meteorológicos y oceánicos de corto y mediano plazo. Aunque en este trabajo no se han relacionado ambos tipos de variables, es probable que la tasa a la que se incrementa la temperatura entre la primavera y el verano dependa de la frecuencia con la que se presenten los frentes fríos y del momento en que ocurre el cambio en el régimen de vientos. El efecto del fenómeno de El Niño no fue evidente en el análisis realizado posiblemente por la longitud de la serie de tiempo y por la variabilidad del impacto de los diferentes eventos ENSO en el Golfo de México (ver discusión del Capítulo II).

Por otra parte, los meses más fríos se presentaron al final del invierno y los más cálidos al principio del verano. Entre estos dos periodos la tasa con la que se calentó el agua entre invierno y verano varió entre los años analizados, en consecuencia, las variaciones de la temperatura entre los meses consecutivos fueron más altos entre marzo y junio, que en los meses previos y posteriores.

La temperatura superficial mensual permitió caracterizar las condiciones del intervalo 1989- 1993, utilizando como indicadores la tasa de incremento estacional, los gradientes longitudinales y los promedios mensuales. Las temperaturas invernales más elevadas se registraron en 1989 y 1993, sin embargo, puesto que la tasa de incremento fue pequeña, los registros de mayo y junio fueron menores que los de otros años. En contraste, en 1991 esa tasa fue elevada, por lo cual, aunque la temperatura invernal fue baja, la veraniega fue la más alta del periodo analizado.

Las diferencias entre los años fueron más acusadas en los paralelos ubicados al Sur del 24 °N, que en el área localizada entre el 25 y 27 °N, en donde, los cambios interanuales fueron menores a pesar de que las variaciones entre meses consecutivos y la tasa de incremento entre invierno y primavera fueron mayores. En el paralelo 24° N, cerca de la zona de anidación, la tasa de incremento mensual permaneció constante. Por otra parte, las diferencias entre meses consecutivos fueron menos conspicuas en los paralelos 24 y 23° N, que en el resto del área analizada.

Las variaciones de los gradientes sobre cada uno de los transectos (gradientes longitudinales) hacia el Norte del paralelo 24 y particularmente del 25° N, estuvieron asociadas con la presencia y variaciones de la pluma, por lo que fueron más grandes durante el invierno y menores en el verano. Al Sur del paralelo 23° N los gradientes fueron más pequeños y las condiciones más constantes. Estas características muestran que el área de anidación presenta condiciones menos variables que el resto de la plataforma de Tamaulipas.

En contraste con las imágenes mensuales, las semanales obtenidas entre abril y julio del periodo 1996-1998, no permitieron distinguir diferencias en la velocidad con la que se elevó la temperatura, aunque en los tres años, los cambios más bruscos estuvieron asociados con la desaparición del frente térmico.

El efecto de la nubosidad sobre la temperatura superficial marina fue poco evidente, posiblemente por la escala temporal de las imágenes y por el efecto amortiguador del agua ante cambios bruscos. Es probable que la temperatura sea afectada por los fenómenos asociados con la nubosidad, tales como la precipitación y el escurrimiento de la zona litoral.

El filtro Sobel proporcionó un indicador de la variabilidad de la temperatura superficial. Los valores obtenidos mostraron que en 1998 las condiciones fueron más homogéneas que en 1996, cuando el frente fue más evidente. Por otra parte, el valor absoluto de las pendientes de la distribución de frecuencias de esta variable también varió entre las semanas dependiendo de la presencia del frente y de la heterogeneidad de las condiciones superficiales. No obstante, no permitió describir la distribución espacial de esos cambios, los cuales fueron mayores cerca de la costa.

### CONCLUSIONES

1. Existen variaciones en la circulación sobre la plataforma de Tamaulipas, las cuales fueron evidentes a través de la formación de un frente en forma de pluma en el intervalo invierno-primavera y en el verano. En el primer caso se encontró sobre el talud continental, mientras que el verano se encontró más cerca de la costa.
2. El frente aparentemente es indicador de los cambios en el régimen de corrientes costeras. En el invierno y el principio de la primavera, la dirección de la corriente costera es hacia el Sur, impulsada por los vientos del Norte. En contraste, en el borde de la plataforma la corriente se dirige al Norte, impulsada por la presencia semipermanente de anticiclones en esa área. Durante el final de la primavera y el verano, la circulación cerca de la costa se invierte como resultado de la influencia de la circulación anticiclónica y del cambio en el régimen de vientos, que durante ese periodo es dominado por los vientos alisios, cuya dirección es E y SE.
3. En la plataforma continental ubicada entre los paralelos 21 y 27° N, los años más cálidos fueron 1990-1992 y los más fríos 1989 y 1993.
4. La temperatura del área comprendida entre los paralelos 24 y 27 °N no varió significativamente entre los años, aunque la tasa de incremento entre el invierno y verano, y los gradientes sobre los paralelos fueron mayores que al Sur del paralelo 24° N, donde se presentaron las condiciones contrarias.
5. Entre los paralelos 23 y 24° N las condiciones fueron más constantes que en el resto del área analizada.
6. La temperatura semanal en la zona de anidación fue menor en 1996 y mayor en 1998, aunque la tasa a la cual se incrementó fue similar entre los dos años. La homogeneidad de la temperatura superficial fue más grande en 1998, por lo que el número de intervalos de frecuencias de los datos obtenidos con el filtro Sobel fue menor y el valor absoluto de las pendientes más grande.

### LITERATURA CITADA

- Barron Jr., C. N. y A. C. Vastano. 1994. Satellite observations of surface circulation in the northwestern Gulf of Mexico during March and April 1989. Cont. Shelf Res. 14(6):607-628
- Behringer, D. W., R. L. Molinari y J. F. Festa. 1977. The variability of anticyclonic current patterns in the Gulf of Mexico. J. Geophys. Res. 82(34): 5469-5476

- Biggs, D. C. 1992. Nutrients, plankton and productivity in a warm-core ring in the western Gulf of México. J. Geophys. Res. 97(C2): 2143-2154
- Brooks, D. A. 1984. Current and hydrographic variability in the Northwestern Gulf of México. J. Geophys. Res. 89(C5): 8022-8032.
- Brooks, D. A. y R. V. Legeckis. 1982. A ship and satellite view of hydrographic features in the western Gulf of México. J. Geophys. Res. 87(C6): 4195-4206.
- Casas-Andreu, G. 1978. Análisis de la anidación de las tortugas marinas del género *Lepidochelys* en México. An. Centro Ciencias Mar y Limnol. 5(1):141-157
- Chuvicco, E. 1990. Fundamentos de teledetección espacial. Riapl. Madrid. 453 pp.
- Cochrane, J. D. 1972. Separation of an anticyclone and subsequent developments in the Loop Current (1969) In L. R. A. Capurro y J. L. Reid (Eds.). Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico. Gulf Publishing. Houston. pp: 91-106
- Cochrane, J. D. y F. J. Kelly. 1986. Low -Frequency on the Texas-Louisiana Continental Shelf. J. Geophys. Res. 91(C9): 10645-10659
- Collard, S. B. 1987. Review of oceanographic features relating to neonate sea turtle distribution and dispersal in the pelagic environment: Kemp's ridley (*Lepidochelys kempi*) in the Gulf of México. Final Report. Contract no. 40-6FNF-S00193. NOAA. Florida, 35 pp.
- Collard, S. B. y L. H. Ogren. 1990. Dispersal scenarios for pelagic post-hatchlings sea turtles. Bull. Mar. Sci. 47(1): 233-243
- Comisión Federal de Electricidad 1993. Informe global de estudios oceanográficos para el P.N. El Tordo. Estado de Tamaulipas. Documento Interno. Gerencia de Ingeniería Civil Subgerencia de Estudios Civiles. Departamento de Oceanografía. Residencia zona Golfo. 27 pp
- Coyne, M. S., M. E. Monaco y A. M. Landry. 1998. Kemp's ridley Habitat Suitability Index model. Memoria de Resúmenes. 18th Simposio Internacional sobre Tortugas Marinas. Mazatlán, Sin. 3-17 marzo 1998 p 32
- Eastman, J. R. 1997. Idrisi for Windows. User's Guide. Version 2.0. Clark University. 250 pp.
- Elliot, B. A. 1982. Anticyclonic rings in the Gulf of México. J. Phys. Oceanogr. 12: 1292-1309
- Fernández- Eguarte, A., J. Zavala H. y R. Romero. 1998. Circulación de invierno en la plataforma de Tamaulipas y áreas adyacentes. Memorias de la Reunión SELPER. Zacatecas. Septiembre 1998.
- Glenn, S. M y C. C. Ebbesmeyer. 1993. Drifting buoy observations of Loop current an anticyclonic eddy. J. Geophys. Res. 98(C11): 20105-20119
- Gutiérrez de Velasco, G. 1996. Wind forcing and circulation in the Gulf of México. Tesis de Doctorado. Scripps Institution of Oceanography. University of California, San Diego, Cal. USA, 124 pp.
- Hair, J. F., R. E. Anderson, R. L. Tatham y W. C. Black. 1995. Multivariate data analysis. With readings. 4ª. ed. Prentice Hall. Nueva Jersey. 745 pp
- Hamilton, P. 1992. Lower continental slope cyclonic eddies in the central Gulf of México. J. Geophys. Res. 97(C2): 2185-2200 15

- Howard, M. K., J. D. Cochrane y N. D. Walker. 1996. Coastal upwelling off south Texas. Quarterdeck 4(2) 4 pp
- Lewis, J. K., A. D. Kirwan Jr. y G. Z. Forristall. 1989. Evolution of a warm-core ring in the Gulf of Mexico. Langrangian observations. J. Geophys. Res. 94(C6): 8163-8178
- Li, Y., D. Nowlin Jr. y R. O. Reid. 1997. Mean hydrographic fields and their interannual variability over the Texas-Louisiana continental shelf in spring, summer and fall. J. Geophys. Res. 102(C1): 1027-1049
- Lohman, K. J. y C. M. F. Lohman. 1996. Orientation and open sea navigation in sea turtles. J. Exp. Biol. 199: 73-81
- Mann, K. H. y J. R. N. Lazier. 1996. Dynamics of marine ecosystems. Biological-physical interactions in the oceans. 2<sup>a</sup>. ed. Blackwell Scientific. London. 394 pp.
- Merrell, W. J. y J. M. Morrison. 1981. On the circulation of the western Gulf of México with observations from April 1978. J. Geophys. Res. 86(C5): 4181-4185. 20
- Merrell, W. J. y A. M. Vázquez. 1983. Observations of changing mesoscale circulation patterns in the western gulf of Mexico. J. Geophys. Res. 88(C12): 7721-7723
- Monaldo, F. 1996. Primer on the estimation of Sea Surface Temperature using TeraScan Processing of NOAA AVHRR Satellite Data. Version 2.0 SIR-96M-03. 35 pp
- Montgomery, D.C. 1984. Design and analysis of experiments. 2a. ed., Wiley, Nueva York. 391 pp.
- Monreal-Gómez, M. A. y D. A. Salas de León. 1990. Simulación de la circulación de la Bahía de Campeche. Geofísica Internacional 29(2):101-111
- Morreale, S. J. y E. A. Standora. 1999. Ecology of *Lepidochelys kempi* in Western Atlantic developmental habitats and migratory corridors. 19<sup>th</sup> Annual Symposium on Sea Turtle Conservation and Biology. South Padre Island. Marzo 1999
- Müller-Karger, F. E. y J. J. Walsh. 1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface temperature cycles of the Gulf of Mexico as determined by satellites. J. Geophys. Res. 96(C7): 12645-12665
- Oey, Lie-Yauw. 1995. Eddy and wind -forced shelf circulation. J. Geophys. Res. 100 (C5): 8621-8637.
- Pica, G. Y y R. Pineda. 1991. Oceanografía Física del Golfo de México y Mar Caribe Mexicano. In: G. de la Lanza E. (Ed) Oceanografía de mares mexicanos. AGT Editor, México. 569 pp.
- Pilcher, N. y S. Enderby. 1998. Hatchling swimming performance as a function of prolonged captivity. Memoria de Resúmenes. 18<sup>th</sup> Simposio Internacional sobre Tortugas Marinas. Mazatlán, Sin. 3-17 marzo 1998. p 12
- Richards, J. A. 1986. Remote sensing digital image analysis. An introduction. Springer Verlag. Berlin 281 pp.
- Sheinbaum, J., J. Zavala y J. Candela. 1997. Modelación numérica del Golfo de México y Mar Caribe. In: M. F. Lavin. Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía no. 3. Unión Geofísica Mexicana. pp 243-264

- Smith, D. C. IV. 1986. A numerical study of Loop current eddy interactions with topography in the Western Gulf of Mexico. J. Phys. Ocean. 16: 1260-1272
- StatSoft, Inc. 1995. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK, 74104-4442, (918) 749-1119, fax: (918) 749-2217, e-mail: info@statsoft.com, WEB: http://www.statsoft.com.
- Sturges, W. 1993. The annual cycle of the Western Boundary Current in the Gulf of Mexico. J. Geophys. Res. 98(C10): 18053-18068
- Vastano, A. C. y C. N. Barron Jr. 1994. Comparison of satellite and drifter flow estimates in the northwestern Gulf of Mexico. Cont. Shelf Res. 14(6): 589-605
- Vastano, A. C., C. N. Barron Jr. y E. W. Shaar Jr. 1995. Satellite observations of the Texas current. Cont. Shelf Res. 15(6): 729-754
- Vázquez de la Cerda, A. M. 1993. Bay of Campeche Cyclone. Tesis de Doctorado. Texas A&M University. 91 pp.
- Vázquez de la Cerda, A. M. 1975. Current and waters of the upper 1200 meters in the Southwestern Gulf of Mexico. Tesis de Maestría. Texas A & M University . 108 pp.
- Vázquez J., A. Tran, R. Sumagaysay, E.A. Smith, y M. Hamilton. 1995. NOAA/NASA AVHRR Oceans Pathfinder Sea Surface Temperature Data Set User's Guide Version 1.2, JPL Technical Report 55.
- Vidal, V. M., F. V. Vidal y J. M. Pérez-Molero. 1992. Collision of a Loop Current anticyclonic ring against the continental shelf slope of the western Gulf of Mexico. J. Geophys. Res. 97(C2): 2155-2172.
- Vidal, V. M., F. V. Vidal y J. M. Pérez-Molero. 1988. Atlas oceanográfico del Golfo de México. Vol. I. Instituto de Investigaciones Eléctricas. CFE. México. 415 pp
- Vukovich, F. 1988. Loop current boundary variations. J. Geophys. Res. 93(C12):15585-15591
- Vukovich, F. M., B. W. Crissman, M. Bushnell y W. J. King. 1979. Some aspects of the oceanography of the Gulf of Mexico using satellite and *in situ* data. J. Geophys. Res. 84(C12): 7749-7768 33
- White, M. y M. W. Downton. 1991. The shrimp fishery in the Gulf of Mexico: relation to climatic variability and global atmospheric patterns. In: M.H. Glantz, R. W. Glantz y N. Nicholls (Eds.). Teleconnections linking worldwide climate anomalies. Scientific basis and societal impact. Cambridge University Press. U.K. pp:459-491
- Wyneken, J. 1997. Sea Turtle Locomotion: mechanics, behavior and energetics. . In P L. Lutz y J. A. Musick (Eds.) The Biology of Sea Turtles. CRC Press, Boca Raton. pp: 165-198
- Yongxiang, L., W. D. Nowlin Jr. y R. O. Reid. 1996. Spatial -scale analysis of hydrographic data over the Texas-Louisiana continental shelf. J. Geophys. Res. 101(C9): 20595-20605
- Zar, J. H. 1974. Biostatistical Analysis. Prentice Hall. 620 pp.
- Zavala-Hidalgo, J. S. L. Morey y J.J.O'Brien. 2002. Circulation in the western shelf of the Gulf of Mexico. EOS. Trans. 83, 321

**CAPITULO II**  
**CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS Y CLIMÁTICAS DE LA**  
**ZONA DE ANIDACIÓN.**

**CONTENIDO**

<b>RESUMEN .....</b>	<b>35</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>37</b>
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>37</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>38</b>
<b>MÉTODOS.....</b>	<b>39</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
<i>Comparación de los registros entre las estaciones meteorológicas.....</i>	<i>42</i>
<i>Descripción de las variaciones y de los ciclos en las series de tiempo de Soto la Marina y Punta Jerez.....</i>	<i>42</i>
<i>Variaciones meteorológicas durante las temporadas de anidación (1978-1998). Comparación entre Soto la Marina y Barra del Tordo entre 1986 y 1996.....</i>	<i>44</i>
Variables que influyen en el clima de la zona de anidación durante el trimestre abril-junio. ....	46
Efecto de los fenómenos atmosféricos en la zona de anidación.....	48
<i>Huracanes.....</i>	<i>49</i>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>49</b>
<i>Representatividad de los datos de Soto la Marina de las condiciones de la playa de anidación.....</i>	<i>49</i>
<i>Representatividad de la temperatura como indicador de las condiciones climáticas y meteorológicas de la playa de anidación.....</i>	<i>49</i>
<i>Variabilidad climática regional .....</i>	<i>49</i>
<i>Características meteorológicas de la temporada de anidación (abril-junio) entre 1978 y 1998.....</i>	<i>50</i>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>52</b>



## INDICE DE TABLAS

Tabla II.1.- Estaciones meteorológicas cercanas a Rancho Nuevo. Claves: SMN, Servicio Meteorológico Nacional; CFE, Comisión Federal de Electricidad. ....	40
Tabla II.2 Características de las series de tiempo utilizadas. ....	40
Tabla II.3.- Normales de temperatura y precipitación. La información de Barra del Tordo y de Aldama sólo se utilizó como referencia. N: Meses promediados. ....	42
Tabla II.4.- Periodo y amplitud media cuadrática de los picos mostrados en la figura II.4. Los periodos están registrados en años. Los valores de la amplitud media cuadrática se muestran entre parentesis y sus unidades son las de las variables originales. ....	43
Tabla II.5.- Duracion en días de los periodos de los picos dominantes de los espectros de las series tipo II. La amplitud media cuadrática se anota entre parentesis y sus unidades corresponden a las de los registros originales. ....	44
Tabla II.6.- Resultados de la aplicación del ACP a la matriz con el total de datos de Soto la Marina del periodo 1975-1998. A) Valores de los eigenvalores obtenidos en las matrices no rotadas y rotadas con el método Varimax normalizado según Kaiser. B) Coeficientes de correlación de las variables con los Factores en las matrices no rotadas. C) Coeficientes de correlación de las variables con los Factores en las matrices rotadas. ....	46
Tabla II.7 - Resultados de la aplicación de ACP a la matriz con el total de datos del periodo 1987-1996 de Barra del Tordo. A) Valores de los eigenvalores obtenidos en las matrices no rotadas y rotadas con el método Varimax normalizado según Kaiser. B) Coeficientes de correlación de las variables con los Factores en las matrices no rotadas. C) Coeficientes de correlación de las variables con los Factores en las matrices rotadas. ....	47

## INDICE DE FIGURAS

Fig. II.1.-Estaciones meteorológicas cercanas a la zona de amadación (Reserva Natural) .....	39
Fig. II.2 - Series de tiempo de temperatura (A) y precipitación pluvial (B) .....	43
Fig. II.3 -Anomalías térmicas estandarizadas mensuales del periodo abril - junio registradas en Soto la Marina. ....	44
Fig. II.4 - Precipitación total mensual, anomalías y días con lluvia registrados en Soto la Marina. ....	45
Fig. II.5 - Gráficas de las anomalías estacionales estandarizadas de la temperatura y precipitación en el periodo 1951-1996 de Soto la Marina. Las flechas indican la ocurrencia del fenómeno de El Niño. ....	48



## RESUMEN

*Se analizaron los registros meteorológicos de 4 estaciones ubicadas en las inmediaciones de la playa de anidación de la tortuga lora: Soto la Marina, Aldama, Barra del Tordo y Punta Jerez con el objetivo de describir la variabilidad climática y las variaciones meteorológicas de la zona. La serie de tiempo más larga y completa fue la de Soto la Marina y puesto que no hubo diferencias en las tendencias de la temperatura y precipitación con respecto a las otras 3 estaciones, fue empleada para caracterizar a la región. Las variaciones en el tiempo se analizaron con el análisis espectral de las series de Soto la Marina y Punta Jerez, localidades ubicadas en los límites Norte y Sur de la playa de anidación. Se utilizaron 2 escalas: mensuales y diarias. Las tendencias se describieron con análisis de regresión lineal simple.*

*La temperatura se ha incrementado desde 1978, en contraste con la precipitación, que ha decrecido. Ambas variables oscilaron con frecuencias semestrales y anuales, relacionadas con el ENSO y los ciclos solares. Los cielos diarios se calcularon para las temporadas de anidación del intervalo 1979-1996 y se encontraron entre 3 y 28 días. Es probable que sean producto del paso de eventos de carácter sinóptico.*

*En el trimestre abril-junio del lapso 1978-1998, la temperatura se incrementó significativamente, particularmente en mayo y junio. Por el contrario, decreció la nubosidad, la precipitación y la humedad relativa. En ese lapso usualmente se presentó el cambio de régimen de viento de invierno a verano; en el primero dominaron los Nortes, mientras que en el segundo, los alisios. Las velocidades más grandes se alcanzaron en abril y estuvieron asociadas con los Nortes y con el viento del Sudeste.*

*La temperatura es un indicador adecuado de las variaciones meteorológicas, puesto que las variables relacionadas con el ingreso de energía solar al sistema fueron las que tuvieron el mayor peso en el trimestre abril-junio de acuerdo con los Análisis de Componentes Principales.*

*También se analizó el efecto de eventos meteorológicos de gran extensión geográfica, tales como El Niño-La Oscilación del Sur, el Patrón Pacífico Norteamérica y la Oscilación del Atlántico Norte. El efecto de los dos primeros fue mayor que el de la NAO, sin embargo, la proporción de la varianza explicada fue menor al 10%. El retraso en el efecto del ENSO fue de aproximadamente 5 meses, mientras que el del PNA fue de 0. La influencia de la NAO no fue muy evidente.*

*La cantidad de huracanes que han pasado por el Golfo de México se ha incrementado paulatinamente. En los últimos 30 años han tocado tierra 2 huracanes y 1 tormenta tropical en las inmediaciones de la playa de anidación. El "Gilberto" modificó la topografía y los sedimentos.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## INTRODUCCIÓN.

Las variaciones del ambiente influyen en el ciclo vital y en el comportamiento de los organismos (Eibl-Eibesfeldt, 1974); en el caso de las tortugas marinas, el proceso de desove y la incubación de los huevos se desarrollan en los litorales de los mares tropicales, por lo que están sujetas a las oscilaciones de los ambientes terrestres y marinos.

La influencia de los fenómenos atmosféricos en el ciclo de vida de las tortugas marinas depende de su extensión geográfica, periodicidad y duración. En este capítulo se determinó la variable con mayor influencia en el sistema, se describieron las variaciones de corto y mediano plazo de la temperatura, la precipitación pluvial, el viento y algunas otras variables en la playa de anidación de la tortuga lora para disponer de elementos que permitan elaborar hipótesis sobre la relación del ambiente y el comportamiento de las tortugas marinas durante su estancia sobre la playa, no obstante puesto que el periodo de vida de estos organismos es prolongado, también se describen los eventos que afectan a grandes áreas geográficas bajo la suposición de que pueden modificar la disponibilidad del hábitat e influir en el estado fisiológico de los individuos.

El problema principal de este trabajo fue obtener series de tiempo de las variables meteorológicas prolongadas y representativas de las condiciones de la zona de anidación. La estación meteorológica más antigua de la región esta en Soto la Marina (SM), 63 km al Norte de la playa de anidación

Los registros mensuales de la temperatura promedio y la precipitación pluvial total de SM se compararon con los de otras tres localidades para describir la variabilidad climática y evaluar su utilidad como representantes de la región. Comparaciones adicionales fueron realizadas con la temperatura promedio diaria de SM y Barra del Tordo (BT) registrada en los periodos marzo-agosto de los años comprendidos entre 1989 y 1996. Fue imposible contrastar otras variables por las diferencias en la toma de datos en las dos estaciones.

## ANTECEDENTES

En la zona de anidación, ubicada en la región central costera de Tamaulipas, el tipo de clima varía entre subhúmedo en Punta Jerez a semiárido en Soto la Marina, localidades ubicadas al Sur y Norte de la zona (García, 1978, 1998). La época de lluvias comprende de mayo a noviembre, relacionada con los vientos alisios y los huracanes, aunque el paso de los frentes fríos entre noviembre y febrero también acarrea precipitaciones (Mosíño y Morales, 1988). Los meses más secos son marzo y abril

En la zona hay dos tipos de régimen de viento: el de invierno, dominado por los Nortes; y el de verano, influenciado por los alisios, provenientes del Este y Sudeste (Gutiérrez de Velasco y Winant, 1996; Elliot, 1979). La intensidad máxima del viento se alcanza en el invierno y al final del verano, relacionada con fenómenos sinópticos tales como los frentes invernales y los huracanes (Gutiérrez de Velasco, 1996).

El Golfo de México, hábitat de los adultos de *Lepidochelys kempi*, se encuentra en el límite de las regiones tropical y subtropical, por lo que los procesos atmosféricos que influyen sobre este cuerpo de agua difieren en el espacio y el tiempo. El Norte y Noroccidente son afectados con mayor intensidad por los fenómenos que se generan entre el Pacífico, Norteamérica y el Atlántico Norte (Horel y Wallace, 1981; Walsh y Richman, 1981; Acosta, 1988; Ting y Wang, 1997; Montroy et al., 1998; Gershunov y Barnett, 1998), en especial durante el invierno y primavera.

cuando se presentan tres patrones recurrentes de circulación atmosférica de gran escala (White y Downton (1991): El Niño - La Oscilación de Sur (ENSO), el Patrón Pacífico Norte América (PNA) y la Oscilación del Norte del Atlántico (NAO).

El ENSO afecta la región a través de una teleconexión<sup>1</sup>. En los inviernos posteriores al ENSO se incrementa la precipitación (Bradley *et al.*, 1987; Ropelewski y Halpert, 1986, 1987); disminuye la temperatura (Rogers, 1984; Livezey *et al.*, 1997) y el número de huracanes en el Atlántico es menor al promedio (Gray, 1984). Por otro lado, el patrón PNA es el resultado de las variaciones de la presión atmosférica entre el Norte del Pacífico y de Norteamérica, lo que incrementa la frecuencia e intensidad de los Nortes. Cuando se presenta el ENSO se ha observado una mayor incidencia de éste patrón (White y Downton, 1991).

La Oscilación del Atlántico Norte afecta principalmente la costa Este de EE.UU., y en menor medida el Norte del Golfo de México. Durante su fase positiva (+NAO) la celda anticiclónica de las Azores esta bien desarrollada y la temperatura invernal del SE de EE.UU. es más templada, mientras que durante la negativa (-NAO), penetran las masas de aire desde Canadá.

La periodicidad de estos fenómenos es variable. El ENSO se ha reconocido en periodos de 2 a 7 años, mientras que la NAO en intervalos de aproximadamente 7 a 3 años y la co-ocurrencia de ambos en periodos de 6 años (Rogers, 1984).

Por otro lado, las condiciones del Este y el Sur del Golfo son afectadas por las oscilaciones en el Atlántico Ecuatorial (Sánchez-Santillán, 1999), en especial en el verano y el otoño, cuando la Zona de Convergencia Intertropical se desplaza al Norte del Ecuador y se presentan los huracanes provenientes del Caribe y el NO de África.

## OBJETIVOS

Caracterizar el clima de la playa de anidación, que se extiende entre Punta Jerez y Soto la Marina en escalas anual, estacional, mensual y diaria

Describir y comparar las condiciones climáticas de las localidades de Soto la Marina, Aldama, Barra del Tordo y Punta Jerez, así como la tendencia de las variaciones de Soto la Marina y Rancho Nuevo a diferentes periodos de tiempo comprendidos entre 1925 y 1998.

Determinar la representatividad de los datos de Soto la Marina como indicadores de la tendencia de las variaciones de Rancho Nuevo

Describir los ciclos de la temperatura ambiental y la precipitación de Soto la Marina y Punta Jerez en el periodo 1925-1998

Determinar las variables con mayor incidencia en las condiciones climáticas en la localidad de Soto la Marina, dentro de las temporadas de anidación comprendidas entre 1979 y 1998.

Estimar la influencia de los fenómenos de mesoescala (ENSO, PNA y NAO) en la zona de anidación

<sup>1</sup> Según Wallace y Gutzler (1981) las teleconexiones son correlaciones significativas entre fluctuaciones simultáneas que ocurren entre variables meteorológicas de áreas geográficas separadas. Gantz *et al.* (1991) las describen como "interacciones atmosféricas entre áreas ampliamente separadas".

## MÉTODOS

La descripción de las características de la zona de anidación se realizó con la información de 4 estaciones meteorológicas<sup>2</sup> cercanas a la Reserva Natural (Tabla II.1, Fig. II.1), también se analizaron 361 registros diarios del intervalo 1981-1985 tomados en Rancho Nuevo, con una estación meteorológica electromecánica Khalsico Mod. 40AM160, compuesta de un termógrafo, un anemómetro y un pluviómetro de cubeta.

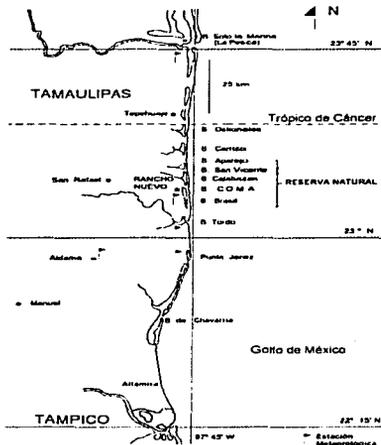


Fig. II.1.- Estaciones meteorológicas cercanas a la zona de anidación (Reserva Natural).

Los registros mensuales de la temperatura media y la precipitación total de las cuatro estaciones meteorológicas, así como los de Rancho Nuevo y Soto la Marina se compararon entre sí, la temperatura, con el análisis de varianza (ANDEVA) de una vía y el de correlación simple de Pearson, y la precipitación con los métodos no paramétricos de Kruskal - Wallis y de Spearman (Zar, 1974). Los análisis se hicieron con el programa STATISTICA V. 4.5 para Windows (StatSoft, Inc., 1995).

<sup>2</sup> Los registros fueron tomados en 3 estaciones y en un observatorio meteorológicos, por lo que hay diferencias en la frecuencia de las mediciones y en el número de variables registradas, sin embargo, en el resto del texto serán referidos de manera genérica como "estaciones meteorológicas".

**Tabla II.1.- Estaciones meteorológicas cercanas a Rancho Nuevo. Claves: SMN: Servicio Meteorológico Nacional; CFE: Comisión Federal de Electricidad.**

Estación	S. la Marina	Aldama	B. del Tordo	P. Jerez
Coordenadas	23° 46' N 98° 13' O	22° 54' N 98° 04' O	23° 03' N 97° 46' O	22° 53' N 97° 46' O
Altitud	12 m	130 m	5 m	2 m
Clave	28152	28003		28078
Periodo	1927-1998	1960-1985	1986-1997	1925-1965
Tipo de Clima (García, 1998)	(A)C(w <sub>o</sub> )(e)w**	(A)Ca(w <sub>o</sub> )(e)w**	(A)Ca(w <sub>1</sub> )(e)w**	(A)Ca(w <sub>1</sub> )(e)w**
Periodicidad del registro	Horaria	Diaria	Diaria	Diaria
Distancia desde Rancho Nuevo (km)	63	35	16	31.5
Fuente	SMN	SMN	CFE	SMN

Nota: los registros diarios se toman a las 8:00 hrs.

Los registros de Soto la Marina y de Punta Jerez se emplearon para detectar la presencia de ciclos en la temperatura, la precipitación y el viento (Tabla II.2). Los datos fueron normalizados restando el promedio de la serie de tiempo correspondiente a cada registro y dividiendo esa diferencia entre su desviación estándar; posteriormente se calculó la transformada de Fourier y el periodograma, el cual fue suavizado cada 5 frecuencias para obtener las densidades espectrales (S<sub>w</sub>).

La amplitud de cada periodo (también denominada amplitud media cuadrática) de cada armónico se calculó a partir de la densidad espectral. Los intervalos de confianza de los espectros fueron estimados con algoritmos descritos en la literatura (Jenkins y Watts, 1969; Konyayev, 1990). Las funciones matemáticas están incluidas en el Apéndice B

**Tabla II.2.- Características de las series de tiempo utilizadas.**

Grupo	Intervalo	Variable	Unidad	Periodo	N
Soto la Marina I	1 mes	Temperatura	°C	I/1927 - XII/1995	828
		Precipitación pluvial	mm		828
Soto la Marina II	1 día	Temperatura	°C	III/1979 - VIII/1996	6575
		Temp. máxima			6575
		Temp. mínima			6575
		Oscilación. térmica			6575
		Precipitación pluvial	mm		6575
Punta Jerez I	1 mes	Velocidad del viento	m/s	I/1925 - XII/1961	6575
		Dirección del viento	grados		6575
		Temperatura	°C		444
		Precipitación pluvial	mm		444

Los ciclos diarios de temperatura y viento en la temporada de anidación se detectaron en los registros de Soto la Marina (Grupo II en la Tabla II.2). La estimación en intervalos permitió calcular el espectro promedio con un elevado valor de confianza.

La variabilidad y la tendencia de la temperatura, la precipitación, la nubosidad, la humedad relativa y el viento en los intervalos abril - junio del periodo 1975-1998 de las estaciones de Soto la Marina y Barra del Tordo se describió con análisis de regresión lineal simple. Los datos de Soto la Marina permitieron calcular las anomalías estandarizadas de temperatura y precipitación, a partir de las normales calculadas con los registros del intervalo 1927-1998.

Las variables con mayor influencia en el sistema entre abril y junio se distinguieron con el análisis de factores por componentes principales (ACP) en los datos de Soto la Marina y Barra del Tordo. Se emplearon tres tipos de matrices cuyas dimensiones dependieron del número de meses y variables analizadas. En el primero se incluyeron ocho años para los que fue posible obtener el mayor número de variables. En la segunda se amplió el número de años a 18, pero las variables se redujeron a un conjunto que fuera común, con el objeto de establecer comparaciones. Los ACP se aplicaron para cada periodo trimestral en los dos primeros tipos de matriz, mientras que en la tercera se agruparon los 18 años.

Previo al desarrollo de los ACP, cada variable se estandarizó y se aplicó el método de Kaiser-Meyer-Olkin y la prueba de esfericidad de Bartlett (Hair et al., 1995), incluidas en el programa SPSS v. 8.0 Windows (SPSS, 1997). Estas pruebas y sus resultados están descritos en el Apéndice B. El número de factores fue seleccionado por el valor de los eigenvalores y el método gráfico de Cattell (tomado de Pla, 1986). La significancia de los coeficientes de correlación de las variables con los factores, se estimó con el criterio descrito de Hair et al. (1995). Las variables con mayor influencia se destacaron con la rotación VARIMAX Normalizada.

La influencia de los eventos atmosféricos de escala global fue estimada con análisis de correlación y regresión entre los índices de estos fenómenos y las anomalías estandarizadas estacionales y mensuales de la temperatura y la precipitación total, medidas en Soto la Marina en el lapso 1951-1998.

Las variables utilizados fueron el Índice de la Oscilación del Sur (SOI), el Índice del Patrón Pacífico - Norteamérica (PNA) y el de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). Los tres fueron obtenidos de la página WEB de la NOAA (<http://nic.fb4.noaa.gov.80/data/cddb/>)

La influencia del ENSO también se estimó a través de la comparación de la magnitud de las anomalías estacionales de temperatura y precipitación en años "Niño", "No-Niño" y "Niña" (Tabla II.4), con un ANDEVA de una Vía (Zar, 1974). También se contrastó la proporción de anomalías positivas y negativas entre los años "Niño:No Niño", "Niño:Niña" y "Niña:No Niño", con la prueba de  $\chi^2$  aplicada a tablas de contingencia de 2x2.

El número de huracanes que se presentaron en el Golfo y el Atlántico entre 1871 y 1998 se obtuvo del Atlas de Arroyo et al. (1976) y el National Hurricane Center de EE UU dependiente de la NOAA. La tendencia de la abundancia de estos eventos se estimó con una ecuación de regresión lineal simple valorada con un ANDEVA al 95% de confianza. Se contabilizó el número de huracanes que pasó o tocó tierra en un radio de 2° alrededor del área de anidación.

## RESULTADOS

### Comparación de los registros entre las estaciones meteorológicas.

La temperatura presentó un ciclo anual bien definido; los meses con mayores variaciones fueron abril, mayo y septiembre. Desde el punto de vista espacial, la temperatura fue más estable al Sur de la zona (Punta Jerez y Aldama) que al Norte (Soto la Marina) (Tabla II.3).

Tabla II.3.- Normales de temperatura y precipitación. La información de Barra del Tordo y de Aldama sólo se utilizó como referencia. N: Meses promediados.

Variable	Normal Desv. N			Normal Desv. N			Normal Desv. N			Normal Desv. N		
	Est.			est.			est.			est.		
	Soto la Marina			Aldama			Barra del Tordo			Punta Jerez		
Temp.	23.85	4.54	748	23.31	4.07	291	23.69	4.13	115	23.54	3.74	443
Pp	64.08	96.68	781	71.55	96.79	282	84.20	138.60	132	90.79	112.55	431

La temporada de lluvias inicia en mayo, decrece ligeramente en agosto a consecuencia de la canícula, y alcanza su máximo en septiembre, cuando los huracanes son frecuentes (Sánchez-Santillán y de la Lanza, 1995). Entre noviembre y febrero se presentaron algunas lluvias asociadas con los "Nortes".

Los análisis mostraron diferencias significativas entre la temperatura mensual de Soto la Marina y Barra del Tordo ( $F_{1,215}=4.07$ ,  $p=0.04$ ) Por el contrario, los registros de precipitación sólo fueron similares entre esas localidades ( $F_{1,215}=1.40$ ,  $p=0.235$ ). Los coeficientes de correlación de Pearson ( $r>0.9$ ;  $p<0.05$ ) y Spearman fueron significativos ( $r>0.6$ ;  $p<0.05$ ), lo que indica que la tendencia de las variables fue similar en toda la zona.

La temperatura promedio diaria en Rancho Nuevo y Soto la Marina entre 1981 y 1985, mostró la misma tendencia ( $r=0.7$ ,  $p<0.01$ ,  $N=360$  días), a pesar de las diferencias en magnitud ( $F_{1,65}=39.35$ ,  $p<0.01$ ); puesto que la temperatura en Soto la Marina fue aproximadamente  $1.6^{\circ}\text{C}$  mayor, aunque ocasionalmente ocurrió lo contrario.

### Descripción de las variaciones y de los ciclos en las series de tiempo de Soto la Marina y Punta Jerez.

La temperatura de Soto la Marina ha presentado amplias variaciones desde la década de los veinte; se incrementó en los años treinta y cuarenta, y disminuyó en los cincuenta y sesenta. A partir del segundo lustro de los setenta, inició un periodo de calentamiento que continuó hasta el final del periodo de estudio. La tasa de incremento en los periodos cálidos fue  $0.03$  y  $0.02$  anomalía/año, mientras que la de enfriamiento fue de  $-0.03$  anomalía/año<sup>1</sup>. En Punta Jerez la tendencia de la temperatura fue similar pero las variaciones fueron menores. Los años más cálidos entre 1978 y 1998, periodo en el que se ha protegido a las tortugas en Rancho Nuevo, fueron 1995 y 1998.

La precipitación fue más variable y no mostró alguna tendencia definida. En las estaciones del Sur, Barra del Tordo y Punta Jerez, la lluvia fue más abundante que en el Norte (Fig. II.2). En el primer lustro de la década de los treinta y de los noventas se registraron las lluvias más abundantes, que en algunos casos coincidieron con un elevado número de huracanes o con el fenómeno de El Niño.

TESIS CON  
FALLA DE COPIA

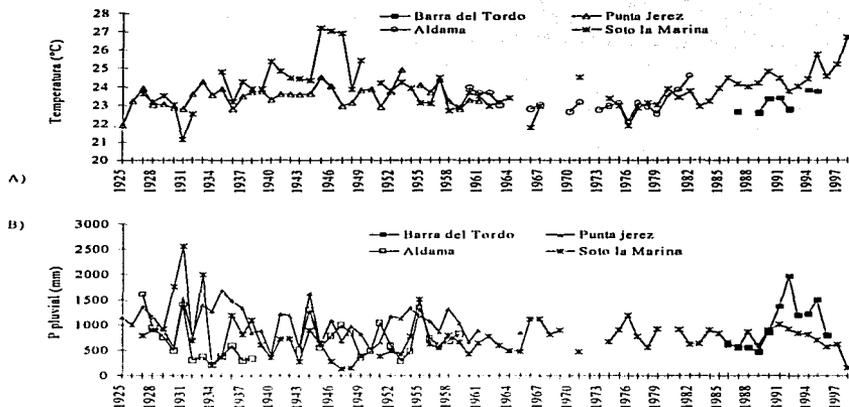


Fig. 11.2.- Series de tiempo de temperatura (A) y precipitación pluvial (B).

La temperatura y precipitación de Soto la Marina y Punta Jerez presentó variaciones cíclicas; los armónicos más importantes fueron los anuales y semestrales, seguidos por ciclos con periodos variables entre 2 y 7 años (Tabla II.4)

Tabla II.4 - Período y amplitud media cuadrática de los picos mostrados en la figura 11.4. Los períodos están registrados en años. Los valores de la amplitud media cuadrática se muestran entre paréntesis y sus unidades son las de las variables originales.

Variables	Soto la Marina	Punta Jerez
Temperatura (°C)	0.5 (0.72), 1 (3.15), 2 (0.13), 2.5 (0.13), 3.5 (0.12), 7 (0.14), 11 (0.28)	0.5 (0.70), 1 (3.10), 2.5 (0.07), 3.5 (0.12), 7 (0.14)
Precipitación (mm)	0.5 (6.5), 1 (24.2), 2.5 (5.4), (5.2)	0.5 (8.3), 1 (24.0), 2.5 (5.4), 3.5 (4.7), (6.3)

Los espectros de los datos diarios de la temperatura promedio, la dirección y la velocidad del viento, medidos entre marzo y agosto en Soto la Marina, mostraron varios ciclos significativos, cuyos periodos se encontraron entre 3 y 26 días (Tabla II.5). En el caso de la precipitación, las variaciones fueron suaves y el espectro careció de armónicos aislados como resultado del carácter puntual y local de las lluvias en la zona tropical (Riehl, 1979)

Tabla II.5.- Duración en días de los períodos de los picos dominantes de los espectros de las series tipo II. La amplitud media cuadrática se anota entre paréntesis y sus unidades corresponden a las de los registros originales.

Variables	Período medio de las oscilaciones (Soto la Marina)
Temperatura (°C)	3 (0.20), 4 (0.31), 5 (0.31), 7 (0.65), 12 (0.57)
Velocidad del viento (m/seg)	3 (0.25), 4 (0.31), 5 (0.27), 7 (0.57), 12 (0.48)
Dirección del viento (grados)	3, 4, 5, 7, 5, 12

**Variaciones meteorológicas durante las temporadas de anidación (1978-1998). Comparación entre Soto la Marina y Barra del Tordo entre 1986 y 1996.**

La temperatura se incrementó entre 1975 y 1990, aunque sus fluctuaciones pueden tipificarse como normales porque sus anomalías se encontraron dentro de la primera desviación estándar (intervalo  $\pm 1$  en la Fig. II.3); sin embargo, en la década de los noventas frecuentemente superaron ese valor. En Barra del Tordo no fue posible calcular las anomalías, pero es probable que sus variaciones hayan sido similares.

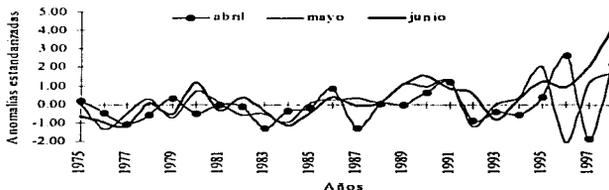


Fig. II.3.-Anomalías térmicas estandarizadas mensuales del período abril - junio registradas en Soto la Marina.

Las temperaturas extremas en Soto la Marina se encontraron entre 30 y 40 °C y entre 12 y 24 °C. La tendencia de la temperatura máxima fue creciente en mayo y junio ( $r < 0.05$ ), mientras que sólo en éste último mes ocurrió algo semejante con la temperatura mínima. La correlación entre las temperaturas mínima y máxima fue relativamente pequeña ( $r = 0.43$ ,  $p < 0.01$ ,  $N = 2\ 045$ ) porque en los intervalos 1983-1985 y 1994-1998 se obtuvieron valores extremos.

En Barra del Tordo la tendencia creciente solo fue apreciable en la temperatura mínima; sin embargo, a diferencia de Soto la Marina, la correlación entre las temperaturas mínima y máxima fue mayor ( $r = 0.75$ ,  $p < 0.01$ ,  $N = 792$ ), probablemente porque se creció de información de los períodos con valores extremos.

En ambas localidades las variaciones de la temperatura fueron pronunciadas en abril y las primeras dos semanas de mayo, mientras que tendió a permanecer estable el resto del trimestre, excepto en algunas temporadas en que se presentaron lluvias y chubascos, como 1992 y 1995.

En Soto la Marina la temperatura estuvo correlacionada ( $p < 0.05$ ) con la nubosidad, la humedad relativa, la evaporación y la tensión de vapor. Los signos de las correlaciones fueron negativos, en casi todos los casos, en especial cuando se analizó la temperatura máxima. Estos análisis sólo se aplicaron en Soto la Marina porque se careció de datos de Barra del Tordo.

La precipitación pluvial en Soto la Marina fue inferior a la normal y siguió una tendencia decreciente, excepto en tres años en los que las anomalías superaron la primera desviación estándar (Fig. II.4). Los trimestres más secos se presentaron entre 1994-1998. El número de días con lluvia al mes usualmente fue menor a 10.

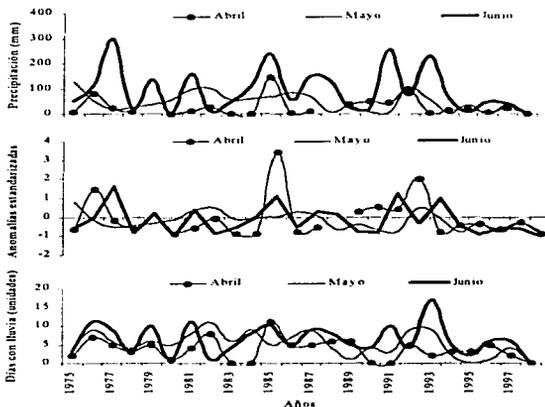


Fig. II.4.- Precipitación total mensual, anomalías y días con lluvia registrados en Soto la Marina

La lluvia estuvo significativa y positivamente correlacionada con la humedad relativa, la nubosidad y de manera negativa con la temperatura máxima y la velocidad del viento en la mayoría de los años analizados.

En Barra del Tordo la precipitación total fue ligeramente más abundante que en Soto la Marina, aunque la diferencia no fue significativa

La nubosidad sólo se reportó en Soto la Marina, en donde el número promedio de nubes fue ligeramente mayor en el segundo lustro de los setenta y siguió una tendencia negativa en años posteriores, como lo muestra el método no paramétrico de regresión ( $H = -0.264$ ,  $N = 670$ ,  $p < 0.01$ ). En los años analizados la nubosidad fue mayor en abril. Por otra parte, la correlación con

la temperatura y la velocidad del viento fue negativa, mientras que fue positiva con la precipitación y la humedad relativa.

La humedad relativa se encontró entre el 82 y el 55 %, y su tendencia fue decreciente; los años más húmedos se presentaron en los setentas y los más secos después de 1995. Las fluctuaciones diarias se incrementaron a lo largo del periodo de estudio. Esta variable estuvo inversamente relacionada con la temperatura y la velocidad del viento, y directamente con la nubosidad y la precipitación.

Los vientos dominantes provinieron del Norte y del E-SE principalmente. Los primeros se presentaron en abril y mayo, en eventos que duraron unos cuantos días; mientras que los segundos prevalecieron desde la primera o segunda semana de mayo. Los Nortes mostraron amplias variaciones, entre eventos y años. Las velocidades registradas en Soto la Marina fueron más grandes que las reportadas en Barra del Tordo.

La velocidad del viento de Soto la Marina estuvo correlacionada en 9 de los 14 años analizados, de manera negativa con la humedad relativa y en algunos periodos con la temperatura, la nubosidad y la precipitación.

*Variables que influyen en el clima de la zona de anidación durante el trimestre abril-junio.*

Los análisis de componentes principales aplicados a los tres tipos de matrices de Soto la Marina (un ejemplo de los cuales se muestra en la tabla II.6) mostraron que la insolación, la nubosidad, la humedad relativa, la temperatura mínima y la temperatura máxima fueron las variables con mayor peso. Al rotar los factores, la insolación y la nubosidad presentaron los coeficientes de correlación más altos. En el factor 2, la temperatura mínima y la tensión de vapor destacaron, en las matrices antes y después de la rotación de la mayoría de los años.

Estos resultados sugieren que las variables relacionadas con el ingreso de energía, tales como la insolación y la temperatura ejercen la mayor influencia en el sistema. Otras variables importantes fueron la humedad relativa y la tensión de vapor, las que se relacionan de manera inversa con la temperatura.

**Tabla II.6.- Resultados de la aplicación del ACP a la matriz con el total de datos de Soto la Marina del período 1975-1998. A) Valores de los eigenvalores obtenidos en las matrices no rotadas y rotadas con el método Varimax normalizado según Kaiser. B) Coeficientes de correlación de las variables con los Factores en las matrices no rotadas. C) Coeficientes de correlación de las variables con los Factores en las matrices rotadas.**

A						
Factor	Eigenvalores	% Varianza	% Acumulado	Eigenvalores matriz rotada	% de Varianza	% Acumulado
1	2.21	31.67	31.67	1.37	19.62	19.62
2	1.64	23.53	55.20	1.22	17.47	37.09
3	.99	14.26	69.47	1.05	15.01	52.10
4	.84	12.07	81.54	1.02	14.69	66.80
5	.60	8.65	90.20	1.00	14.41	81.21
6	.38	5.42	95.62	1.00	14.40	95.62
7	.30	4.37	100.00			

Tabla II. 6.- Continuación...

Variable	B					
	Factores					
	1	2	3	4	5	6
Temperatura máxima	-0.85	0.23	-0.11	0.14	1.47E-02	7.63E-02
Temperatura mínima	-0.40	0.75	9.72E-02	2.37E-02	-0.37	0.26
Tensión de vapor	-0.16	0.82	-0.11	-0.23	0.30	-0.35
Humedad relativa	0.72	0.37	-0.12	-0.20	0.33	0.37
Velocidad del viento	-0.31	-5.34E-02	0.90	-9.23E-02	0.27	6.14E-02
Nubosidad	0.70	0.29	0.34	-0.18	-0.41	-0.16
Precipitación	0.42	0.32	0.13	0.82	0.11	-6.09E-02

Variables	C					
	Factores					
	1	2	3	4	5	6
Temperatura máxima	-0.63	0.50	-0.35	0.19	-7.52E-02	7.30E-02
Temperatura mínima	4.08E-03	0.94	-2.73E-02	0.23	3.51E-02	4.30E-02
Tensión de vapor	-1.82E-02	0.25	0.11	0.95	1.72E-02	-7.44E-03
Humedad relativa	0.26	-5.93E-02	0.92	0.13	0.12	-0.12
Velocidad del viento	-2.02E-02	4.80E-02	-0.10	-5.45E-03	-3.379E-02	0.99
Nubosidad	0.94	6.76E-02	0.16	4.46E-02	0.11	7.68E-04
Precipitación	0.12	1.96E-02	0.10	1.53E-02	0.98	-3.44E-02

En Barra del Tordo, los tres primeros componentes de los ACP contabilizaron poco menos del 80% de la varianza (como se ejemplifica en la Tabla II.7A). Las variables con mayor peso fueron las temperaturas máxima y mínima, el viento y la precipitación (Tabla II.7 B y C). Estos resultados no son comparables con los de Soto la Marina, no obstante, las variables más relevantes también estuvieron relacionadas con el ingreso de energía solar al sistema.

Tabla II.7.- Resultados de la aplicación de ACP a la matriz con el total de datos del período 1987-1996 de Barra del Tordo. A) Valores de los eigenvalores obtenidos en las matrices no rotadas y rotadas con el método Varimax normalizado según Kaiser. B) Coeficientes de correlación de las variables con los Factores en las matrices no rotadas. C) Coeficientes de correlación de las variables con los Factores en las matrices rotadas.

Factor	A			B		
	Eigenvalores	% Varianza	% Acumulado	Eigenvalores	% de Varianza	% Acumulado
1	1.97	39.40	39.40	1.74	34.95	34.95
2	1.05	21.09	60.49	1.00	20.13	55.08
3	1.00	20.15	80.64	1.00	20.04	75.13
4	0.72	14.47	95.12	1.00	19.99	95.12
5	0.24	4.87	100.00			

Variables	B			
	Factores			
	1	2	3	4
Temperatura máxima	0.90	0.14	-3.404E-02	0.20
Temperatura mínima	0.88	8.59E-02	0.10	0.27
Velocidad del viento	1.11E-02	0.93	0.13	-0.33
Dirección del viento	-0.60	0.34	0.16	0.69
Precipitación	3.99E-02	-0.18	0.97	-9.44E-02

Tabla II. 7.- Continuación...

Variables	Factores			
	1	2	3	4
Temperatura máxima	0,91	-5.70E-02	5.57E-02	-0.17
Temperatura mínima	0,93	7.79E-02	-1.19E-02	-0.10
Velocidad del viento	3.03E-02	-7.99E-03	0,99	5.470E-02
Dirección del viento	-0.20	4.77E-03	5.88E-02	0,97
Precipitación	1.58E-02	0,99	-7.96E-03	4.77E-03

*Efecto de los fenómenos atmosféricos en la zona de anidación.*

Desde los años cincuenta, las anomalías estacionales negativas de la precipitación y la temperatura de Soto la Marina fueron más frecuentes que las positivas; no obstante, los análisis de varianza y las tablas de contingencia no mostraron diferencias significativas entre los años "Niño", "No Niño" y "Niña".

Los análisis estadísticos de los registros mensuales no indicaron relación entre estos eventos y la precipitación total. En contraste, los análisis de correlación cruzada sugieren que el ENSO y el PNA disminuyeron la temperatura promedio mensual de Soto la Marina, aunque el primero con un retraso de aproximadamente 5 meses, mientras que efecto del patrón PNA fue inmediato. Por otro lado, no hubo correlación con el índice de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO).

A diferencia de los análisis individuales, el método de regresión múltiple arrojó resultados significativos y sin desfase ( $r^2=0.082$ ;  $F=9.41$ ,  $p<0.01$ , g. l. 4,421). Los coeficientes de correlación parcial del SOI y el PNA fueron mayores que los de la NAO, aunque los tres fueron significativos

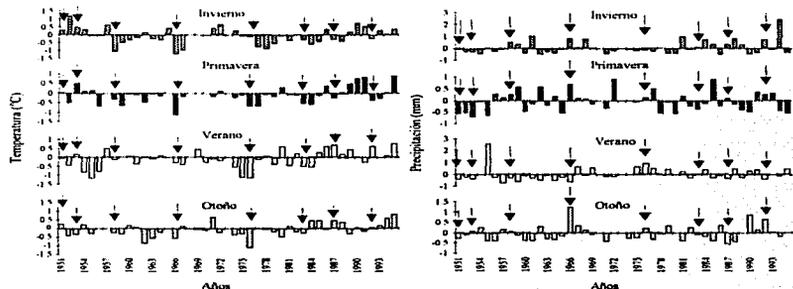


Fig. II.5.- Gráficas de las anomalías estacionales estandarizadas de la temperatura y precipitación en el período 1951-1996 de Soto la Marina. Las flechas indican la ocurrencia del fenómeno de El Niño.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ***Huracanes***

En el Atlántico y Golfo de México los huracanes se han incrementado desde 1871. El número promedio de huracanes que se presentó en Tamaulipas entre 1950 y 1998 fue de 1.26 eventos por año con anomalías positivas en los setentas y, particularmente en 1998, cuando se presentaron cinco. Los huracanes fueron más frecuentes hacia el final de la temporada de anidación (agosto y septiembre).

Entre 1975 y 1998 se detectaron 8 meteoros en Tamaulipas, de los cuales la tormenta "Gabrielle", y los huracanes "Anita" (1977) y "Gilberto" (1988) tocaron tierra en las inmediaciones de la zona de anidación. Éste último alcanzó la categoría 4 con vientos máximos sostenidos superiores a los 250 km /hr.

## **DISCUSIÓN**

### ***Representatividad de los datos de Soto la Marina de las condiciones de la playa de anidación.***

Los resultados del análisis de varianza y las diferencias en la amplitud de algunos ciclos, sugieren que existe un gradiente positivo en la temperatura y negativo en la precipitación entre el Sur (Punta Jerez) y Norte de la playa (Soto la Marina). Es probable que estas diferencias microclimáticas estén determinadas por la topografía de la zona terrestre adyacente, las condiciones marinas y la escorrentía; aunque también es posible que sean resultado de las diferencias en las fuentes de los datos y las características de las series de tiempo.

Por otra parte, los métodos de correlación lineal y la semejanza entre los periodos de la temperatura y la precipitación en los extremos Norte y Sur de la zona, muestran que las variaciones y su tendencia fueron similares a lo largo de la playa de anidación. Estos resultados permiten concluir que los datos de Soto la Marina son representativos de la variabilidad climática y de las variaciones meteorológicas de la zona de anidación.

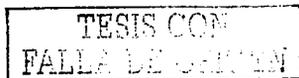
### ***Representatividad de la temperatura como indicador de las condiciones climáticas y meteorológicas de la playa de anidación.***

Las variables relacionadas con el ingreso de energía, tales como la insolación, la nubosidad y la temperatura, explicaron la mayor proporción de la varianza de los datos de Soto la Marina y Barra del Tordo. Esto permite suponer que la temperatura es un indicador adecuado de las variaciones meteorológicas en la región durante el trimestre abril-junio, a pesar de que el método de componentes principales sólo permite elaborar hipótesis acerca de las relaciones entre los elementos de un sistema y la relevancia de las variables (de la Cruz, com. pers.).

Esta conclusión es apoyada por la elevada correlación de la temperatura con otras variables, tales como la nubosidad, la humedad relativa y la tensión de vapor. Esto también permite suponer que éstas últimas presentan ciclos similares a los de la temperatura, aunque en fases diferentes dado el signo negativo de los coeficientes.

### ***Variabilidad climática regional***

La ubicación de la playa de anidación en la costa Nororiental mexicana le confiere características particulares. Es afectada por los cambios globales y la interacción de los fenómenos atmosféricos



que se generan en el Pacífico, Norteamérica y los provenientes del Atlántico y Caribe; algunos de los cuales se presentan periódicamente.

El ciclo de más largo plazo, fue evidenciado por las tendencias crecientes y decrecientes de la temperatura y la precipitación entre los años veinte y finales de los sesenta; sin embargo, la duración de la serie de tiempo es insuficiente para describirlo de manera fehaciente. Cabe señalar que desde el segundo lustro de los setenta la variable se incremento paulatina, pero ininterrumpidamente hasta el final del periodo de estudio. Este calentamiento ha sido perceptible en gran parte del Hemisferio Norte y ha sido asociado con el proceso de Cambio Global (Hidore, 1996; Arntz y Fahrbach, 1996 ); sin embargo, la información es insuficiente para llegar a una conclusión de esta naturaleza. Por otro lado, la variabilidad de la precipitación fue menos evidente, pero en general presentó la tendencia contraria a la temperatura.

Los eventos de escala global fueron detectados en el análisis espectral; éste permitió distinguir ciclos anuales en ambos extremos de la zona de anidación, que pueden ser asociados al ENSO, cuyo efecto disminuye desde el Norte del Golfo y Sudeste de EE.UU. hacia Veracruz y Campeche (Magaña *et al.*, 1997; Sánchez-Santillán, *com. pers.* ).

Los análisis de series de tiempo y de regresión sugieren que la repercusión de los eventos de gran escala geográfica en la zona de anidación es pequeña. El efecto del PNA se manifiesta de inmediato, mientras que el del ENSO se retrasa aproximadamente 5 meses; sin embargo, es probable que haya variaciones dependientes de las condiciones locales, la intensidad del ENSO y la interacción de éste último con otros fenómenos atmosféricos, tales como el flujo zonal en las latitudes medias (Kumar y Hoerling, 1997; Ting *et al.*, 1996).

La repercusión de la NAO no fue evidente porque afecta principalmente el Este del Golfo y el Sudeste de Estados Unidos. Sin embargo, es probable que su efecto sea indirecto porque la señal del ENSO disminuye cuando coincide con la fase positiva de la NAO (Rogers, 1984), como aparentemente ocurrió durante el Niño de 1991-1992 cuya señal fue pobre, en comparación con el de 1982-1983 (Gutiérrez de Velasco, 1996).

El método de regresión múltiple muestra que el efecto de estos eventos fue inmediato, a diferencia de los resultados de los análisis individuales, posiblemente como resultado de la estrecha relación entre el PNA y el ENSO, así como por la coincidencia de los ciclos de éste último evento con una NAO positiva.

Entre 1977 y 1995 dos huracanes y una tormenta tropical tocaron tierra en las inmediaciones de la zona de anidación. Entre estos fenómenos destaca "Gilberto", que alcanzó la categoría 4. Cabe mencionar que aunque el paso de estos fenómenos ocurrió hacia el final de la temporada de anidación, pueden modificar la fisiografía de la playa y la textura de los sedimentos.

#### *Características meteorológicas de la temporada de anidación (abril-junio) entre 1978 y 1998.*

El análisis de la tendencia de las variables meteorológicas de Soto la Marina en 20 temporadas de anidación muestra que la temperatura se incrementó, particularmente en mayo y junio, mientras que la humedad relativa y la nubosidad decrecieron.

El calentamiento paulatino de la región durante ese periodo fue acorde con la tendencia creciente que se ha observado en el continente, como se describió en la sección anterior. Este proceso fue afectado por las condiciones locales y eventos puntuales, lo cual se manifestó a través de la baja

correlación entre las temperaturas máxima y mínima. Es probable que los fenómenos globales hayan contribuido, puesto que algunos valores extremos coincidieron con El Niño o la Niña, como ocurre en el Sudeste de EE.UU.

A diferencia de Soto la Marina, en Barra del Tordo la tendencia creciente solo fue significativa en la temperatura mínima; sin embargo, es probable que estos resultados estén sesgados por la longitud de las series de tiempo. Por otro lado, hacia el Sur de Tamaulipas, la humedad es mayor lo que probablemente amortigua las variaciones térmicas.

La precipitación no mostró alguna tendencia definida dentro del trimestre, aunque la mayoría de las anomalías fueron negativas puesto que sólo durante el paso de los Nortes, se superó la primera desviación estándar. Por otra parte, el régimen de vientos estuvo dominado por los Nortes durante la primavera y por los alisios en el verano, mientras que el cambio entre ambos regímenes ocurrió en mayo.

A diferencia de las tendencias de mediano plazo, las oscilaciones de las variables fueron periódicas dentro de las temporadas. Los ciclos diarios de temperatura y viento reflejaron el paso de eventos de escala sinóptica (Filonov *et al.*, 1998; Riehl, 1979) y han sido reportados en otras localidades del Golfo de México. Mosaño y García, (1973), Metcalfe (1987) y Salas *et al.* (1992), encontraron ciclos con periodos variables entre dos y nueve días. Los ciclos más largos (28 días) podrían mantener un ritmo lunar o solar. Otros periodos, no obtenidos en este trabajo, de la velocidad y dirección del viento han sido relacionados con mareas atmosféricas y el sistema diurno de brisas marinas (Salas *et al.*, 1992).

### CONCLUSIONES

1. La variabilidad meteorológica y las variaciones climáticas en la zona de anidación pueden ser descritas a partir de la información de Soto la Marina por la elevada correlación existente entre los registros de temperatura.
2. Las diferencias significativas detectadas en la temperatura y la precipitación entre las estaciones, pueden ser derivadas de variaciones en los métodos de registro y procesamiento de datos o reflejar la existencia de microclimas entre el Sur y Norte de la playa. En este último caso, el gradiente temperatura sería positivo y el de precipitación, negativo.
3. La temperatura se ha incrementado desde 1927, pero la tendencia fue poco significativa, en contraste con la registrada entre el segundo lustro de la década de los setentas y 1998.
4. La temperatura y la precipitación presentaron ciclos con periodos variables entre 3 días y 11 años. Los ciclos anuales y los correspondientes al ENSO se detectaron en ambos extremos de la playa de anidación.
5. Los ciclos diarios se presentaron en periodos variables entre 3 y 28 días. Es probable que sean producto del paso de eventos de carácter sinóptico.
6. En el trimestre abril-junio del lapso 1978-1998, la temperatura se incrementó significativamente, particularmente en mayo y junio. De manera paralela, decreció la nubosidad, la precipitación y la humedad relativa.
7. En el trimestre abril-junio se presenta el cambio de régimen de viento de invierno a verano, en el primero dominaron los Nortes y los vientos alisios en el segundo. Las velocidades

más grandes se alcanzaron en abril y estuvieron asociadas con los vientos del Norte y con los del Sudeste.

8. Las variables relacionadas con el ingreso de energía solar al sistema fueron las que tuvieron el mayor peso en el trimestre abril-junio. Por lo que se considera que la temperatura es un indicador adecuado de la variabilidad climática de ese período.
9. El efecto del ENSO y el PNA fue mayor que el de la NAO. La proporción de la varianza explicada fue menor al 10%. El retraso en el efecto del ENSO fue de aproximadamente 5 meses, mientras que el del PNA fue de 0. La influencia de la NAO fue imperceptible.
10. El número de huracanes que pasan sobre el noroccidente del Golfo de México ha permanecido constante desde los cincuenta. Sólo en algunos años se ha incrementado significativamente, como 1998.

#### LITERATURA CITADA

- Acosta, G. A. 1988. El Niño: sus efectos sobre el norte de México. Ingeniería hidráulica en México. Enero-abril: 13-29
- Arntz, W.F. y E. Fahrbach. 1996. El Niño, experimento climático de la naturaleza. Ciencias Físicas y efectos biológicos. Fondo de Cultura Económica. 312 pp.
- Arroyo, J., S. Serra y A. Estrada. 1976. Atlas de Trayectorias de ciclones tropicales. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM. s/p.
- Bradley, R. S., H. F. Diaz, G. N. Kiladis y J. K. Escheid. 1987. ENSO signal in continental temperature and precipitation records. Nature. 32(11):497-501
- Eibl-Eibesfeldt, I. 1974. Etología. Introducción al estudio comparado del comportamiento. Omega. 643 pp.
- Elliot, B. A. 1979. Anticyclonic rings and the energetics of the circulation of the Gulf of Mexico. Tesis Doctoral. Texas A& M University. 188 pp.
- Filonov, A. E., I. E. Tereshchenko y C. O. Monzón. 1998. On the oscillations of the hydrometeorological characteristic in the region of Chapala Lake in time frames of days to tenths of years. Geofísica Internacional. 37(4):293-307.
- García, E. 1998. Carta de climas. Carta Nuevo León, escala 1:1 000 000
- García, E. 1978. Apuntes de climatología. Larios. México. 154 pp.
- Gershunov, A. y T. P. Barnett. 1998. ENSO Influence on intra-seasonal extreme rainfall and temperature frequencies in the contiguous United States: Observations and model results. Journal of Climate 11:1575-1586
- Glantz, M.H.R., W. Katz y N. Nicholls. 1991. Teleconnections linking worldwide climate anomalies. Scientific basis and societal impact. Cambridge University Press 535 pp.
- Gray, W. H. 1984. Atlantic seasonal hurricane frequency. Part I: El Niño and 30 mb Quasi-Biennial oscillation influences. Monthly Weather Review 112:1649-1668

Gutiérrez de Velasco, G. 1996. Wind forcing and circulation in the Gulf of Mexico. Tesis de Doctorado. Scripps Institution of Oceanography. University of California, San Diego, Cal. USA, 124 pp.

Gutiérrez de Velasco, G. y C. Winant. 1996. Seasonal patterns of wind stress and wind stress curl over the Gulf of Mexico. Journal of Geophysical Research. 101(C8):18127-18140

Hair, J. F., R. E. Anderson, R. L. Tatham y W. C. Black. 1995. Multivariate data analysis. With readings. 4ª. ed. Prentice Hall. Nueva Jersey. 745 pp

Hidore, J. 1996. Global Environmental Change. Its nature and impact. Prentice Hall, USA. 263.pp.

Horel, J. D. y J. M. Wallace. 1981. Planetary -scale phenomena associated with the Southern Oscillation. Monthly Weather Review 109:813-825

Jenkins, G. M. y D. G. Watts 1969 Spectral analysis and its Applications. Holden-Day. San Francisco. 512 pp.

Konyaev, K. V. 1990. Spectral Analysis of Physical Oceanographic Data. A.A. Balkema. Rotterdam. 200 pp.

Kumar, A. y M. P. Hoerling. 1997. Interpretation and implications of observed inter-El Niño variability. Journal of Climate, 10. 83-91

Livezey, R., M. Masutani, A. Leetma, H. Rui, M. Ji y A. Kumar. 1997. Teleconnections responses of the PNA atmosphere to large central equatorial Pacific SST anomalies. Journal of Climate 10:1787-1820

Magaña, V. O., J. L. Pérez, C. Conde y S. Medina. 1997. El fenómeno del Niño y la Oscilación del Sur (ENOS) y sus impactos en México. Informe interno. Instituto de Ecología/SEMARNAP. 21 pp

Metcalf, S.E. 1987. Historical data climatic change in Mexico. Review Geogr. Journal, 153(2): 211-222.

Montroy, D. L., M. Richman y P. J. Lamb. 1998. Observed non-linearities of monthly teleconnections between tropical Pacific sea surface temperature anomalies and central and eastern North American precipitation. Journal of Climate 11:1812-1835

Mosiño, P. y E. García. 1973. The climate of Mexico. In: The climates of North America. Elsevier Scientific Publishing Company- Amsterdam. pp. 345-404.

Mosiño, P. y T. Morales. 1988. Los ciclones tropicales, el Niño y las lluvias en Tacubaya. D.F. Geofísica Internacional, 27 61-82

Pla, E.L. 1986. Análisis Multivariado: Método de componentes principales. Serie de Matemática. Monografía no. 27. OEA Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 89pp

Riehl, H. 1979. Climate and Weather in the Tropic. Academic Press. Londres. 611 pp.

Rogers, J. 1984. The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere. Monthly Weather Review 112: 1999-2015

- Ropelewski, C. F. y M. S. Halpert. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. Monthly Weather Review 115:1606-1626
- Ropelewski, C. F. y M. S. Halpert. 1986. North American precipitation and temperature patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation (ENSO). Monthly Weather Review 114:2352-2362
- Salas de L., D.A., M.A. Monreal y J. Aldeco. 1992. Periodos característicos en las oscilaciones de parámetros meteorológicos en Cayo Arcas, México. Atmósfera. 5:193-205
- Sánchez- Santillán, N. 1999. El Cambio Global en Golfo y Caribe Mexicano y su influencia en doce pesquerías de importancia comercial. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. UNAM. 450 pp.
- Sánchez- Santillán, N. y G. de la Lanza. 1995. La climatología de ciclones en México y el ciclón Gilberto. Serie. Los Académicos. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. 52 pp.
- StatSoft, Inc. 1995. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK, 74104-4442, (918) 749-1119, fax: (918) 749-2217, e-mail: info@statsoft.com, WEB: http://www.statsoft.com
- Ting, M., M. P. Hoerling, T. Xu y A. Kumar. 1996. Northern Hemisphere Teleconnection patterns during extreme phases of zonal-mean circulation. Journal of Climate 9:2614-2633
- Ting, M. y H. Wang. 1997. Summertime US precipitation variability and its relation to Pacific sea surface temperature. Journal of Climate 10 1853-1873
- Wallace, J.M. y D.S. Gutzler. 1981. Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere winter. Monthly Weather Review. 109:784-811
- Walsh, J. y B. Richman. 1981. Seasonality in the associations between surface temperatures over the United States and the North Pacific Ocean. Monthly Weather Review 109:767-783
- White, M. y M. W. Downton. 1991. The shrimp fishery in the Gulf of Mexico: relation to climatic variability and global atmospheric patterns. In: M. H. Glantz, R. W. Katz y N. Nicholls (Eds) Teleconnections linking worldwide climate anomalies. Scientific basis and societal impact. Cambridge University Press. U. K. PP459-491
- Zar, J. H., 1974. Biostatistical Analysis. Prentice Hall. 620 pp.

**CAPITULO III**  
**DISTRIBUCIÓN DE LA TORTUGA LORA EN RANCHO NUEVO,**  
**TAMPS.**

**CONTENIDO**

<b>RESUMEN .....</b>	<b>61</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>63</b>
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>63</b>
<b>ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>65</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>65</b>
<b>MÉTODOS.....</b>	<b>66</b>
<i>Actividades de campo.....</i>	<i>66</i>
<i>Actividades de gabinete.....</i>	<i>68</i>
Distribución temporal de las observaciones.....	68
Características de las arribazones.....	69
Distribución espacial de nidos y hembras.....	70
Distribución de los individuos.....	71
Eficiencia del marcado.....	71
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>75</b>
<i>Distribución de la población en la playa.....</i>	<i>75</i>
Distribución temporal.....	75
Características de las arribazones.....	81
Distribución espacial.....	86
Posición sobre el perfil de la playa.....	90
<i>Distribución de los individuos en el tiempo y el espacio.....</i>	<i>91</i>
Evaluación de la eficiencia del marcado dentro de cada temporada.....	91
Evaluación de la eficiencia del marcado entre temporadas.....	92
Eficiencia de la observación y su efecto en el número de nidos detectados en cada temporada.....	94
Comportamiento de las hembras que no pudieron anidar.....	96
Distribución de las hembras dentro de las temporadas.....	97
Distribución espacial de las anidaciones.....	102
Desplazamiento entre playas.....	109
Distribución entre temporadas.....	110
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>111</b>



<i>Características de los datos.....</i>	<i>112</i>
<i>Eficiencia de las marcas metálicas.....</i>	<i>112</i>
<i>Características de la población que posiblemente afectaron su distribución. ....</i>	<i>113</i>
<i>Patrones de la distribución temporal.....</i>	<i>114</i>
Llegada de las hembras a la playa. ....	114
Horario preferido para la anidación. ....	115
Características de las arribaciones.....	115
Frecuencia de anidación dentro de las temporadas. ....	116
Frecuencia de las anidaciones entre temporadas. ....	117
<i>Patrones de distribución espacial. ....</i>	<i>118</i>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>120</b>
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>123</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla III.1.- Características de las marcas metálicas utilizadas en la playa de Rancho Nuevo.....	67
Tabla III.2.- Años utilizados en cada una de las escalas de tiempo analizadas.....	68
Tabla III.3.- Tendencia de la anidación anual entre 1966 y 1998. Las pendientes de las ecuaciones de regresión indican el sentido de los cambios. Ambas regresiones fueron significativas al 95% de confianza y fueron realizadas con el logaritmo natural de las observaciones.....	75
Tabla III.4.- Parámetros descriptivos de las distribuciones de frecuencias y resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S d).....	76
Tabla III.5.- Resultados del análisis de autocorrelación aplicado a la proporción de nidos depositados en junio. Los renglones en negritas muestran los desfases significativos.....	77
Tabla III.6.- Coeficientes de correlación obtenidos entre la anidación depositada diariamente en los campamentos periféricos y Rancho Nuevo. El tamaño de muestra por temporada fue de 153 días.....	80
Tabla III.7.- Distribución mensual de las arribazones y de la proporción de nidos y hembras (observaciones) que se presentaron en estos eventos. Los renglones sombreados señalan a los años "sin" arribazones y los destacados en negritas a los años "con" arribazones.....	84
Tabla III.8.- Coeficientes de correlación obtenidos entre el número de arribazones de las temporadas y en cada uno de los meses y la proporción de las observaciones mensuales y en las arribazones. Los datos en negritas fueron significativos al 95% de confianza.....	85
Tabla III.9.- Coeficientes de concordancia W de Kendall. En negritas se muestran valores extremos y el sombreado destaca los resultados de 1989 y 1992. Ver explicación en el texto.....	87
Tabla III.10.- Proporción significativa de las correlaciones de Spearman realizadas con los datos del intervalo +10 km. Las proporciones de los intervalos + 0 - 10 km representan los días en que los coeficientes $\rho_{ho}$ sólo fueron significativos con los registros de esa área.....	89
Tabla III.11.- Coeficiente de concordancia W de Kendall. Información del área comprendida entre los kilómetros + 10 a partir de Rancho Nuevo. Con excepción de 1987 cuya significancia $p$ fue de 0.06, el resto fue menor a 0.001.....	89
Tabla III.12.- Distribución de los nidos sobre el perfil de la playa. Los datos están expresados en porcentaje. En los años en los que no se obtuvo el 100%, la diferencia correspondió a los nidos sin referencia a la posición.....	90
Tabla III.13.- Hembras recapturadas y probabilidades de pérdida de la marca metálica. Total de observaciones de cada temporada.....	91
Tabla III.14.- Hembras recapturadas y probabilidades de pérdida estimadas para las hembras que anidaron tres veces. Se incluye la comparación dentro de las temporadas.....	92
Tabla III.15.- Probabilidades de pérdida y retención entre el año en el que fueron marcadas (en el encabezado) y en el que fueron recapturadas. No se menciona el número de años entre ambos eventos. Las hembras marcadas en 1992 fueron recuperadas en dos temporadas más (1ª y 2ª).....	93
Tabla III.16.- Desplazamiento de las hembras que fallaron en algún desove. El signo indica la dirección en que anidaron después del intento. También se presenta la proporción de individuos que regresaron el mismo día (retornos).....	97
Tabla III.17.- Periodos entre dos anidaciones. En los años destacados en negritas posiblemente hubo dos intervalos.....	99
Tabla III.18.- Intervalos diarios entre tres anidaciones, estimados con los datos de los tres campamentos. Sólo en 1992 se incluyen las dos modas, en 1994 y 1995 el tamaño de la muestra fue insuficiente para separarlas.....	101
Tabla III.19.- Resultados de la aplicación de la prueba de Wilcoxon, para muestras apareadas, a los intervalos transcurridos entre las tres anidaciones.....	102

Tabla III.20.- Coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre las ubicaciones de las tortugas que depositaron dos nidos en una temporada. Los coeficientes fueron significativos al 95% de confianza ( $p < 0.01$ ).....	102
Tabla III.21.- Desplazamiento de las hembras que anidaron dos veces. Se incluyó a la mediana en el neto para tener un parámetro de comparación con el absoluto.....	103
Tabla III.22.- Coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre la posición inicial ("estaca") y el desplazamiento.....	103
Tabla III.23.- Coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre la fecha en la que fueron avistadas por primera vez y la distancia entre los nidos (desplazamiento).....	105
Tabla III.24.- Coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre las ubicaciones de las tortugas que depositaron 3 nidos en una temporada. Con excepción de los datos en negritas, los coeficientes fueron significativos al 95% de confianza ( $p < 0.01$ ).....	105
Tabla III.25.- Características de los movimientos de las hembras que desovaron 3 veces.....	106
Tabla III.26.- Resultados de la prueba de Wilcoxon para variables emparejadas, aplicada a los desplazamientos de las hembras que fueron vistas tres veces en una temporada.....	107
Tabla III.27.- Coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre la posición inicial y el desplazamiento de las hembras que anidaron tres veces.....	109
Tabla III.28.- Desplazamiento entre Barra del Tordo, Tepehuajes y Rancho Nuevo. Proporción de las hembras que se desplazaron hacia y desde Rancho Nuevo dentro de una temporada.....	110
Tabla III.29.- Porcentaje de las hembras registradas en Barra del Tordo o Tepehuajes que fueron observadas en alguna temporada consecutiva en Rancho Nuevo.....	111

## INDICE DE FIGURAS

Fig. III.1.- Área de estudio. Tomada de Márquez, 1994.	66
Fig. III.2.- Posición de las hembras sobre el perfil de la playa. Imagen tomada de Márquez, 1994.	71
Fig. III.3.- Polígonos de la frecuencia acumulada de las anomalías (A) y las diferencias entre años consecutivos ( $\Delta$ N) (B). El registro de la esquina superior derecha correspondió a 1998.	75
Fig. III.4.- Diferencias en el número de registros entre años consecutivos ( $i+1$ ).	76
Fig. III.5.- Proporción mensual de los nidos y hembras, entre abril y junio Se destaca la tendencia inversa entre abril y junio, así como la aparente regularidad de las oscilaciones de junio.	77
Fig. III.6.- Abundancia semanal entre 1978 y 1998. La primera semana correspondió al intervalo del 1 al 7 de abril. A) Datos expresados en porcentaje. B) Registros de 1996-1998.	78
Fig. III.7.- Espectro de frecuencias de las observaciones diarias. Las amplitudes medias cuadráticas de los periodos se muestran entre paréntesis y sus unidades son el número de nidos: 3 (2.4), 4 (2.6), 5 (2.5), 7 (3.1), 12 (2.7), 22 (2.8).	79
Fig. III.8.- Distribución horaria de algunas temporadas. En los años de la columna derecha, la anidación ocurrió aproximadamente a la misma hora, mientras que en los de la izquierda estuvo más dispersa. La numeración del eje de las abscisas indica intervalos de 2 horas. El 1 corresponde al lapso de las 4:00 a las 6:00 hrs.	79
Fig. III.9.- Distribución temporal en los tres campamentos. Los datos se expresaron en porcentaje para destacar la sincronía con la que llegaron las hembras a lo largo de la playa.	80
Fig. III.10.- Relación entre la anidación total y la que se presentó en las arribazones. Los residuales se presentan en la figura B. Los puntos fuera de las bandas de confianza del 95% correspondieron a los años "con" arribazones (positivos) y "sin" arribazones (negativos) y se señalan en la tabla III.7.	81
Fig. III.11.- Arribazones en Rancho Nuevo A) Cantidad y proporción de nidos y hembras detectadas en estos eventos entre 1978 y 1998. Los rombos vacíos muestran los años "sin arribazones". B) Variabilidad de los días con y sin arribazones.	82
Fig. III.12.- Características de los intervalos entre las arribazones ocurridas entre 1978 y 1998 N=132 arribazones. A) Distribución de las frecuencias. B) Duración de los intervalos de acuerdo a la fecha de la primera arribazón (día /mes) C) Relación entre el porcentaje de la anidación detectado en las arribazones y los intervalos entre ellas.	83
Fig. III.13.- Duración de la temporada. A) Tendencia de esta variable entre 1978 y 1998. B) Relación con la abundancia de los nidos y hembras.	85
Fig. III.14.- Franja de la playa en la que se distribuyen las hembras dentro del área de cobertura del campamento de Rancho Nuevo. Las cajas muestran los datos entre los cuartiles de 25 y 75%. El origen hace referencia al campamento de Rancho Nuevo.	86
Fig. III.15.- Distribución mensual de las observaciones. En la gráfica no se presenta la escala vertical porque se pretende destacar la similitud entre los meses, así como la relación entre la abundancia de abril y la acumulación de las hembras en regiones específicas.	88
Fig. III.16.- Hembras remigrantes (%) portadoras de marca metálica en la primera captura de cada año. Las variaciones entre 1978 y 1984 resultaron del esfuerzo aplicado en el Programa de Marcado.	93
Fig. III.17.- Variabilidad de las hembras que no fueron detectadas. Las frecuencias de anidación se incluyen en la tabla anexa.	94
Fig. III.18.- Tendencia del porcentaje de la población observado una vez (A) y del que presumiblemente depositó 1 nido (B) en relación con la capacidad de observación del campamento.	95
Fig. III.19.- Relación entre las hembras observadas y las que depositaron entre 1 y 3 nidos. Los coeficientes de correlación de las líneas de tendencia están en la tabla adjunta.	95
Fig. III.20.- Desplazamiento (km) e intervalo (días) entre un intento y una puesta exitosa en las temporadas comprendidas entre 1992 y 1996. N= 280 tortugas.	96



Fig. III.21.- Distribución promedio semanal de las anidaciones consecutivas de 11 años. A) Nidos detectados por las huellas de las hembras (nidos solos). B) Primer nido. C) Segundo y tercer nido.....	97
Fig. III.22.- Distribución temporal de las anidaciones consecutivas. El numerador de los cocientes indica el orden en el que fueron depositados y el denominador el número total de nidos. Las claves son iguales a las de la figura 20. En el eje de las ordenadas secundario se muestra el tercer nido. ....	100
Fig. III.23.- Distribución de frecuencias de las anidaciones consecutivas de 1995. ....	101
Fig. III.24.- Desplazamiento neto y absoluto de las hembras que depositaron dos nidos. Se incluyen todos los datos obtenidos entre 1992 y 1996. El origen corresponde a la posición del primer nido. ....	103
Fig. III.25.- Desplazamiento neto de las hembras a partir de la posición inicial. El cero indica la ubicación del campamento de Rancho Nuevo. ....	104
Fig. III.26.- Desplazamiento de las hembras que anidaron tres veces. A y B) Desplazamiento neto general y por nido. C y D) Desplazamiento absoluto general y por nido. El 1 indica la distancia entre las dos primeros nidos y el 2 entre el segundo y tercer nido. ....	107
Fig. III.27.- Correlación entre el desplazamiento neto entre las anidaciones consecutivas y la ubicación de los nidos. $n1 = \text{nido } 1$ ; $n2 = \text{nido } 2$ .....	108
Fig. III.28.- Recaptura de marcas de moncl. Estas marcas fueron colocadas y recapturadas entre 1988 y 1997. En la captura 1 se marcaron las tortugas. ....	110
Fig. III.29.- Recaptura de marcas de titanio. Marcas colocadas y recapturadas entre 1983 y 1995. Los datos no fueron corregidos por la probabilidad de pérdida de la marca. ....	111

## RESUMEN

*En este capítulo se describen las variaciones de la distribución espacial y temporal de la población anidadora y las hembras de Lepidochelys kempi en Rancho Nuevo, en el periodo comprendido entre 1978 y 1998; así como en el área protegida desde los campamentos de Tepehuajes y Barra del Tordo entre 1992 y 1996; los que están ubicados al Norte y Sur de Rancho Nuevo. También se describieron algunas características de la biología reproductiva, tales como la proporción de hembras que anidaron una o más veces y los ciclos de desove dentro y entre las temporadas.*

*La distribución en el tiempo de la población y de las anidaciones consecutivas de las hembras que anidaron más de una vez, sugiere que una elevada proporción de las tortugas llegaron a la zona entre finales de febrero y los primeros días de mayo. Los primeros desoves se presentaron entre los últimos días de marzo y abril.*

*Las hembras se presentaron en la playa periódicamente, con frecuencias variables entre 1 y 26 días; algunos de estos ciclos coincidieron con los periodos que presentaron las arribaciones, por lo que posiblemente representaron la llegada de diferentes conjuntos de hembras. Las frecuencias mayores a 20 días aparentemente reflejaron los desoves consecutivos de las hembras multiparas y estuvieron relacionadas de manera inversa con la abundancia.*

*Las arribaciones fueron una de las principales características de esta especie; las más abundantes se presentaron en mayo y su duración varió entre uno y tres días. Estos eventos fueron independientes entre sí y su ocurrencia, dependió de la abundancia de las hembras y probablemente de un entorno ambiental particular. Los años fueron clasificados de acuerdo a la cantidad y porcentaje de hembras que se presentaron en las arribaciones; cuatro fueron tipificados como "sin" arribaciones, porque menos del 50% de las hembras anidaron en estos grupos. Estos eventos ocurrieron simultáneamente a lo largo de los aproximadamente 100 km que mide la playa de anidación. Los cambios en la abundancia dentro y entre las temporadas influyeron en el número de arribaciones y en la dispersión de las hembras sobre la playa de anidación. Es probable que la composición individual haya sido menos importante.*

*La distribución espacial presentó pocos cambios, la mayoría de las hembras anidaron al Norte del campamento del Rancho Nuevo, mientras que en el Sur el incremento de los desoves fue proporcional a la abundancia. Sin embargo, la variabilidad de la distribución espacial estuvo relacionada con la abundancia, la evolución de la distribución de frecuencias de las ubicaciones de una a multimodal y posiblemente con la ocurrencia de fenómenos atmosféricos u oceánicos. Bajo condiciones extraordinarias, tales como la ocurrencia de huracanes, se modificó la forma de la distribución, la extensión de la franja sobre la que anidan y la posición de las hembras en el perfil de la playa.*

*Los individuos fueron identificados con el uso de marcas metálicas, por lo que fue necesario evaluar su eficiencia. La probabilidad de que este artefacto permaneciera adherido en la aleta dentro de cada temporada fue cercana al 95%, mientras que entre los años fue de aproximadamente el 30%. Es probable que ambas probabilidades hayan sido independientes del tipo de aleación de la grapa.*

*La proporción estimada de las hembras que anidaron una vez fue cercana al 40%, mientras que el resto desovo en un mayor número de ocasiones. La distribución temporal de las anidaciones consecutivas fue propuesta de la siguiente manera: el primer nido se depositó entre la primera y la quinta o sexta semana; el segundo, a partir de la sexta; mientras que el tercero, desde la décima o undécima semanas. La primera semana correspondió al período del 1 al 7 de abril.*

*Es plausible que existan dos intervalos entre las anidaciones consecutivas, el primero alrededor los 20 y el segundo de los 30 días. En algunas temporadas se presentaron ambos, pero la información disponible no permitió determinar el más frecuente. Las diferencias en los intervalos dentro de las temporadas posiblemente fueron el resultado de la influencia de factores ambientales de corta duración y de carácter local, mientras que las variaciones entre las temporadas posiblemente reflejen la diversidad en la composición individual de la población.*

*En cada temporada las hembras anidaron alrededor de zonas específicas de la playa. Cuando alguno de los nidos fue puesto fuera de lugar, las tortugas compensaron esas desviaciones en los desoves subsiguientes. Ocasionalmente la distancia entre los nidos consecutivos de un individuo fue grande, lo que podría ser un indicador de la precisión de ese individuo para seleccionar un área en particular.*

*Se describieron las características de la distancia entre los nidos consecutivos de una hembra, denominando a esa variable como "desplazamiento". El neto se interpretó como el movimiento de la población, por lo que su signo señaló el rumbo dominante; esas distancias, fueron diferentes y menores a las denominadas como desplazamiento "absoluto", que no considera las variaciones en la dirección entre ambos. Este último muestra que el área en donde anidan estas tortugas es más amplia que en otras especies.*

*Existe un alto grado de fidelidad de las hembras a la zona de Rancho Nuevo y en menor grado a las playas ubicadas al Norte y al Sur de ese campamento. Las hembras que anidaron en Barra del Tordo aparentemente fueron más móviles. La cantidad de hembras registradas en Rancho Nuevo y en los campamentos periféricos en la misma temporada, fue muy pequeña, aunque esta evaluación estuvo limitada por la capacidad de observación de los campamentos.*

*Es razonable suponer que la anidación en diferentes zonas de la playa favorece la supervivencia de alguno de los nidos cuando la densidad poblacional es muy grande. Asimismo, que las diferencias en las condiciones térmicas y sedimentarias, afectan otras características de la población, tales como la proporción sexual de las crías.*

*La frecuencia de la anidación entre las temporadas, probablemente fue bianual, en la mayoría de las hembras. Por otro lado, la distribución de las tortugas sobre la playa fue significativamente diferente entre las temporadas y fue mayor la probabilidad de que las tortugas observadas por primera vez en Tepehuajes sean registradas posteriormente en Rancho Nuevo, que las de Barra del Tordo.*

## INTRODUCCIÓN

Las tortugas marinas presentan patrones estereotipados de conducta durante la reproducción, gracias a la interacción de los sistemas endocrino, nervioso y reproductivo (Miller, 1997; Márquez, 1996). Por otro lado, una de las principales características de éstas poblaciones es la fidelidad hacia las playas de desove, en donde mantienen aproximadamente la misma forma de distribución a lo largo de las temporadas (Márquez, 1996).

La distribución de las poblaciones frecuentemente es modificada por las variables ambientales, las interacciones con otros organismos y las idiosincrasias individuales (Krebs, 1978). Algunos aspectos del comportamiento son cíclicos, mantenidos por mecanismos internos, aunque regulados a través del forzamiento periódico derivado del ingreso externo de energía. Este es el caso de los ciclos circadianos, descritos en un gran número de especies (Margalef, 1977), que dependen de la frecuencia de rotación de la tierra sobre su propio eje. El desplazamiento de la Luna alrededor de la Tierra, también ha sido relacionado con el control de eventos biológicos, tales como los desoves masivos de *L. olivacea* en la costa de Oaxaca (Márquez et al., 1976).

El ambiente contribuye a regular los patrones de distribución y la conducta de los organismos; no obstante, para describir su influencia, es necesario distinguir los patrones de conducta que por su constancia y regularidad, permiten suponer que son establecidos por mecanismos endógenos. En esta sección se pretende describir las variaciones en la distribución espacial y temporal de las hembras de tortugas marinas en la playa de anidación, sobre la suposición de que será posible detectar patrones de conducta y definir las variables biológicas que puedan relacionarse con las ambientales.

## ANTECEDENTES

La distribución de la mayoría de las tortugas marinas es pantropical, por lo que está limitada por la isoterma de 20 °C. Frecuentemente hay variaciones geográficas entre los hábitats de los juveniles y los adultos así como entre las áreas de alimentación y desove (Musick y Limpus, 1997)

El área de distribución de la tortuga lora abarca la plataforma continental comprendida desde el Noreste de EE.UU. hasta la península de Yucatán. No obstante, se considera que los adultos se limitan al Golfo de México. Las principales playas de anidación se encuentran en la costa de Tamaulipas y las zonas de alimentación en la desembocadura del Mississippi, la costa Oeste de Florida y el Banco de Campeche (Chávez, 1969; Márquez, 1994)

Los juveniles se han encontrado en la costa Norte del Golfo de México, la periferia de la península de Florida y por toda la costa Este de Estados Unidos hasta Nueva York (Henwood y Ogren, 1987; Reynolds y Sadove, 2000) aunque los desplazamientos aparentemente están regulados por las variaciones estacionales de temperatura (Morreale y Standora, 1999). La distribución de las crías es desconocida, pero Collard (1987) y Collard y Ogren (1990) supusieron que se encuentran en los meandros y frentes que se forman en el Noroeste del Golfo de México. Estas estructuras hidrodinámicas son consecuencia de la interacción de grandes masas de agua de circulación anticiclónica con la plataforma continental mexicana.

El ciclo de vida, de acuerdo a la descripción de Márquez (1994), puede resumirse de la siguiente manera. Las crías dejan el nido y se dirigen al mar en donde su primer año de vida se considera, como "perdido" puesto que se desconoce su paradero, pero presumiblemente se encuentran en zonas de

frentes en donde es más fácil obtener alimento. La duración del periodo de crecimiento es desconocida, pero es probable que alcancen la madurez sexual entre los 7 y 15 años (Márquez, 1994).

El periodo reproductivo se inicia con la migración de los individuos maduros de las zonas de alimentación a las de apareamiento. Las cuales posiblemente se encuentran en las cercanías de las playas de anidación. La temporada de desove comprende de abril hasta agosto y se efectúa casi exclusivamente en Rancho Nuevo (Tamps.) aunque también hay anidaciones en el Norte de Veracruz.. Es probable que en el pasado hayan desovado también en playas de Campeche, Texas y Florida, en donde recientemente se han detectado algunos nidos (Palmatier, 1993; Johnson *et al.*, 2000)

Los mecanismos que controlan la reproducción competen a los sistemas nervioso y endocrino (Miller, 1997). Así por ejemplo, el desplazamiento de los individuos de *Caretta caretta* y *Chelonia mydas* se inicia cuando la concentración de testosterona se incrementa y la de estradiol disminuye, de acuerdo con Owens (1997), quien señala que este mecanismo posiblemente puede generalizarse a otras especies de tortugas marinas. Los factores que determinan las variaciones en la concentración hormonal no se han descrito. Owens (1997) indica que en juveniles hay una relación significativa entre la temperatura y la concentración hormonal, pero que esto no es evidente entre los adultos.

Aproximadamente un mes antes del primer desove las hembras están receptivas a los machos. En ese periodo pueden aparearse varias veces, por lo que cada nido puede tener más de un padre, como ha sido comprobado con análisis genético (Kiechler *et al.*, 1996)

El ascenso de las hembras sobre la playa se desarrolla durante el día y de manera gregaria, formando lo que se denomina como "arribazones" y que empíricamente se ha asociado con cambios de 2 a 3 °C en la temperatura del aire y de 0.5 a 1 °C en la superficie del mar (Casas- Andreu, 1978), la marea alta (Castro *et al.*, 1998) y con vientos fuertes (Villanueva, 1973, 1974, 1977; Villanueva y Sánchez, 1975). Márquez ha señalado que esta relación disminuye el riesgo de depredación, mientras que Spotila y Standora (1985) mencionan que el viento fuerte contribuye a la pérdida de calor por convección durante su estancia sobre la playa, lo cual también es favorecido por el color claro de su caparazón.

Cuando las hembras reptan sobre la playa "seleccionan" el área propicia para hacer el nido, por lo que entierran el pico mientras caminan. Esta especie prefiere desovar sobre la "cara" de la playa (Pritchard y Márquez, 1973) y la elección del sitio aparentemente depende de la topografía y las características sedimentarias (Márquez, 1994). Por otra parte, aunque mientras ascienden son muy sensibles a la presencia de elementos extraños, cuando inician el desove permanecen indiferentes al medio. Durante esta etapa, el comportamiento de las hembras es estereotipado (Miller, 1997)

La ovulación ocurre pocos días antes de la anidación y es posterior a la aparición de un pico de estradiol y una gonadotropina similar a la Foliculo Estimulante (Owens, 1997). El número de nidos depositados por hembra temporada varía entre 1 y 4; Márquez (1994) con base en los registros de marcado, estimó el número promedio de nidos por temporada en 1.7, mientras que Rostal (1991) y Rostal *et al.* (1992), supusieron que ovipositan 3.07 veces, a partir de la concentración hormonal sanguínea, técnicas laparoscópicas y el ultrasonido

Pritchard y Gicca (1980) detectaron que en las temporadas 1978 y 1979, los días transcurridos entre cada puesta variaban entre 21 y 29 lo que, según estos autores, es el resultado de condiciones abióticas favorables. Márquez *et al.* (1995) encontraron que en la temporada 1993 las hembras llegaron a la playa cada 25 días, en promedio, independientemente de que su calidad de recluta (neófito) o reemigrante

(observada en alguna temporada previa) aunque no menciona los posibles agentes causales de esta conducta.

El número promedio de huevos por nido se estima en 104 (Márquez, 1996). La forma es redondeada y el cascarón es delgado y poroso. Durante esta etapa los embriones son muy sensibles a las condiciones de temperatura y humedad en el sedimento. Por otra parte, la diferenciación sexual de los quelonios, como la de otros reptiles, es dependiente de la temperatura ambiental (Picaud y Dorizzi, 1981; Mrosovsky y Picaud, 1991; Picaud et al., 1995). El significado ecológico de este proceso no es muy claro, aunque algunos autores indican que esta particularidad les confiere a las crías una mayor probabilidad de supervivencia bajo condiciones ambientales determinadas (Shine, 1999).

### ZONA DE ESTUDIO

La longitud del segmento de la playa en la que anidan las tortugas es de aproximadamente 100 km y comprende desde Barra del Tordo hasta la desembocadura del río Soto la Marina (Fig. III.1). El área de anidación más importante se encuentra 15 km al Norte de Barra del Tordo, en las inmediaciones del pueblo de Rancho Nuevo (Barra de la Coma) (Hildebrand, 1963). Las características de la playa fueron descritas en la Introducción.

En la actualidad, personal del Instituto Nacional de la Pesca, del US Fish and Wildlife Service (USF&WS), del Zoológico Gladys Porter de Brownsville, Tx, USA y un numeroso cuerpo de voluntarios, trabaja en actividades de conservación entre abril y septiembre en 5 campamentos. El de Rancho Nuevo es el más importante y el que geográficamente se encuentra en la posición central, mientras que el campamento de Barra del Tordo/Playa Dos se encuentra aproximadamente 15 km al Sur, y el de Tepehuajes/Ostionales 30 km al Norte.

El campamento de Rancho Nuevo está operando desde 1966, mientras que los dos periféricos desde 1992. A partir de 1996 se iniciaron las operaciones de campamentos en La Pesca, ubicado sobre la desembocadura del río Soto la Marina y en la playa de Altamira, próxima a Tampico.

### OBJETIVOS

Describir la distribución de la tortuga lora en tiempo y espacio en la playa de Rancho Nuevo entre 1978 y 1998.

Describir las variaciones de la distribución espacial y temporal del total de observaciones dentro y entre temporadas.

Describir las modificaciones en la distribución espacial y temporal de algunas hembras dentro y entre temporadas.

Evaluar la eficacia del uso de las marcas para la identificación de los individuos.

Determinar los indicadores biológicos que permitan evaluar el efecto del ambiente en la distribución de las hembras.

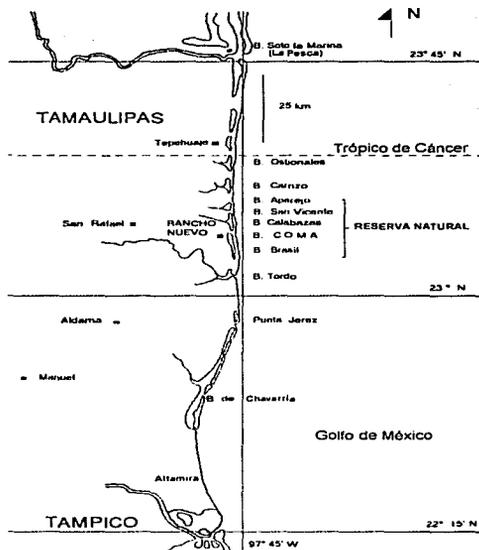


Fig. III.1.-Área de estudio.  
Tomada de Márquez, 1994.

## MÉTODOS

Este capítulo se divide en dos secciones. En la primera se relatan las actividades de protección, evaluación y marcado que el personal del Instituto Nacional de la Pesca (INP) ha desarrollado en el campamento de Rancho Nuevo desde 1966 en la playa del mismo nombre. A partir de 1978 también ha participado personal del USF&WS. La autora no ha tomado parte en estas actividades. En la segunda sección se describen los criterios empleados en el manejo de los datos y las técnicas estadísticas y matemáticas aplicadas.

### *Actividades de campo.*

Durante cada temporada, el personal del INP y el personal contratado por el USF&WS permaneció en el (los) campamento(s) desde abril hasta septiembre. Las técnicas de manejo en el

campo fueron descritas por Márquez et al. (1973), Márquez et al. (1990) y por Pritchard et al. (1983). La longitud de la playa protegida ha variado en función de la cantidad de campamentos instalados (Márquez et al., 2001). Entre 1978 y 1990 se trabajó a lo largo de 30 km, posteriormente, con la instalación de Tepehuajes y Barra del Tordo, esa distancia se extendió a poco más de 120 km.

Se realizan al menos tres recorridos diarios por la playa en función de la abundancia de las hembras. Cualquier indicio de tortuga, nido o rastro se documenta en una tarjeta, en donde se incorporan los siguientes apartados:

- 1.- Tipo de registro. Incluye el tipo de observación, ya sea hembra o nido.
- 2.- Manejo del nido. Describe el destino del nido, el cual pudo ser resembrado en el corral, incubado en una caja, o haberse perdido por depredación o robo.
- 3.- Registros biométricos
- 4.- Observaciones relativas al Programa de Marcado claves, número y tipo de marcas portadas. Presencia de la cicatriz que dejan las marcas externas cuando se desprenden.
- 5.- Actividad de la hembra en el momento de la observación.
- 6.- Posición a lo largo y a lo ancho de la playa
- 7.- Observaciones varias

Por otra parte, todas las tortugas avistadas fueron revisadas para detectar la presencia de marca. En caso de no portar etiqueta se colocó una nueva. Desde 1966 se aplicaron marcas metálicas y a partir de 1988 se inocularon del tipo PIT tag<sup>1</sup> (Passive Integrated Transponder)

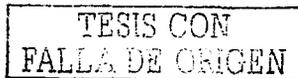
Las marcas metálicas son grapas que se colocan con una pinza y se fijan con la introducción de una pequeña espiga en un orificio. En el campamento de Rancho Nuevo se han utilizado marcas de tres materiales: acero monel, iniconel y titanio. Las dos primeras fueron fabricadas por la National Band and Tag de Newport, Kentucky, mientras que las últimas fueron adquiridas a la Stockbrands Pty Ltd. de Perth, Australia. Las características se incluyen en la Tabla III 1.

Tabla III.1- Características de las marcas metálicas utilizadas en la playa de Rancho Nuevo.

Material	Modelo	Tamaño (mm)
Monel	681	2.5 x 8
	49	40 x 10
Iniconel	681	2.5 x 8
	49	40 x 10

Las marcas electrónicas o PIT tags (marca Destron -Fearing, distribuidas por Biomark, Boise Idaho) son cápsulas de vidrio de aproximadamente 10 mm de longitud que contienen una espiral electromagnética, un capacitor y un microchip; éstas se colocan intramuscularmente con una jeringa. Estos artefactos emiten una señal codificada de 10 caracteres alfanuméricos al ser activados por una señal de radio de baja-frecuencia, variable entre 125 y 400 kHz, producida por un aparato lector. Estas etiquetas son indetectables sin dicho aparato.

<sup>1</sup> Todas las marcas utilizadas desde 1978 fueron donadas por la USF&WS al INP dentro del convenio de colaboración MEXUS-Golfo.



### Actividades de gabinete

Se utilizó la información generada en el campamento de Rancho Nuevo desde 1967 hasta 1998, no obstante, se usaron diferentes periodos en función de la cantidad y calidad de la información disponible para cada análisis.

En esta sección se describen los métodos aplicados a dos tipos de datos. En el primero se incluyeron todos los registros, ya sean nidos o tortugas, dependiendo del objetivo; mientras que en el segundo se emplearon exclusivamente las hembras identificadas por la marca metálica. Las pruebas estadísticas se hicieron con el módulo de Análisis de Datos de la hoja de cálculo EXCEL v. 7.0 (Microsoft), STATISTICA V. 4.5 para Windows (StatSoft, Inc., 1995) y SPSS v. 8.0 Windows (SPSS, 1997).

#### Distribución temporal de las observaciones.

Los datos se clasificaron de acuerdo a las observaciones registradas en las tarjetas de campo; todas las referentes a hembras y nidos (colectados, perdidos por robo o depredación y dejados *in situ*) se sumaron por año, mes, semana, día y hora para analizar cada una de esas escalas. Las temporadas utilizadas en cada análisis variaron en función de la información disponible (Tabla III.2).

Tabla III.2.- Años utilizados en cada una de las escalas de tiempo analizadas.

Escalas	Temporadas
Annual	1978-1998
Mensual	1992-1996
Semanal	1979-1998
Diaria	1979-1996
Horaria	1978-1995

En el caso de la escala horaria sólo se utilizó la información de las hembras, independientemente de la clase de actividad que estuvieron llevando a cabo.

La variabilidad anual ha sido ampliamente discutida por Márquez *et al.* (1996), Márquez *et al.* (1997) y Márquez *et al.* (1998), por lo que en este trabajo sólo se abordó su relación con las variables ambientales, para lo que se analizó la distribución de frecuencias de las "anomalías estandarizadas" del número de observaciones, las cuales fueron calculadas de manera análoga a las de las anomalías meteorológicas:

$$Anom = \frac{Ni - N}{\sigma_N} \quad (III.1)$$

Donde:

- Ni: Observaciones registradas en el año i
- N: Promedio de las observaciones.
- $\sigma_N$ : Desviación estándar.

Esta variable permitió comparar las observaciones de una temporada en particular, con respecto al promedio. Cabe mencionar que en Climatología las medias se calculan con un mínimo de 30 años, para incluir valores extremos (Barry y Chorley, 1987). En este caso se utilizaron 20 años (Tabla III.2) porque la serie de tiempo fue de esa longitud.

La otra variable analizada fue la diferencia en la anidación entre años consecutivos:

$$\Delta N = N_{t+1} - N_t$$

(III.2)

Donde:

$\Delta N$ : Diferencia en la cantidad de nidos en años consecutivos.

$N_t$ : Nidos totales registrados en el año t.

$N_{t+1}$ : Nidos totales registrados en el año t+1.

Las diferencias entre años consecutivos ( $\Delta N$ ) se utilizaron sobre el supuesto de que las tendencias en la abundancia de la anidación, fueron consecuencia del incremento en el esfuerzo invertido en la protección y que la magnitud de los cambios podría reflejar la influencia de las variables ambientales.

Se calcularon los parámetros estadísticos descriptivos para ambas variables. La prueba de normalidad utilizada fue la de Kolmogorov-Smirnov (Zar, 1974).

La distribución mensual se expresó en porcentaje para eliminar las diferencias en la abundancia entre los años. Los datos fueron transformados con la función arco seno (Eq. III.3) antes de aplicar los análisis de autocorrelación y el de correlación lineal simple (Zar, 1996). El primero se usó para describir la existencia de ciclos y el segundo para determinar el grado de dependencia entre los meses

$$p' = \arcsen \sqrt{p}$$

(III.3)

La primera semana de abril se consideró como el origen para los datos semanales. La información se expresó en porcentaje y los valores se compararon entre sí, con los análisis de Kruskal-Wallis y comparaciones múltiples de Newman-Keuls. La distribución de las temporadas 1996-1998 se describió con mayor detalle porque fue relacionada con la temperatura superficial marina en el último Capítulo

La abundancia diaria fue sometida a análisis de series de tiempo para describir los ciclos. Se aplicó el análisis espectral a los registros diarios obtenidos entre el 31 de marzo y el 1 de agosto del intervalo 1979-1996. Los valores fueron normalizados restando el promedio de cada temporada a cada registro y dividiendo las diferencias entre la desviación estándar. Posteriormente se calculó la transformada de Fourier y el periodograma. Este último fue suavizado cada 5 frecuencias para calcular el espectro. Finalmente se calculó el espectro promedio. Esta técnica fue descrita en detalle en el Capítulo II y el Apéndice B.

Esta especie anida durante el día, por lo que la información de 156 arribazones ocurridas entre las 4 y 22 horas se agrupó en intervalos de 2 horas. Para determinar el lapso en el cual fue mayor la presencia de hembras sobre la playa se empleó el análisis de factores por componentes principales, las variables fueron cada uno de los intervalos. Por otra parte, la distribución promedio fue usada como un patrón de distribución hipotético y se comparó con el registrado en cada arribazón con la prueba de  $\chi^2$ .

La sincronía con la que se presentaron diariamente las hembras a lo largo de la playa protegida desde los campamentos de Rancho Nuevo, Tepehuajes y Barra del Tordo fue analizada con análisis de correlación lineal simple y correlación cruzada. Se utilizaron los registros obtenidos entre 1992 y 1996 en Tepehuajes y entre 1993 y 1992 en Playa Dos.

#### *Características de las arribazones.*

Los eventos en los que la abundancia de nidos y hembras fue mayor a 50 en un día fueron denominados como "arribazones". Puesto que posiblemente estén relacionados con la abundancia de la población anidadora, se hicieron dos análisis de regresión lineal simple con el número total de nidos por

temporada, el primero con la cantidad de arribazones y el segundo con las anidaciones depositadas durante esos eventos.

Los residuales de la regresión elaborada entre el total de nidos y los puestos en arribazón fueron empleados para caracterizar a las temporadas como "años con" y "años sin" arribazones, cuando se encontraron fuera de las bandas de 95% de confianza. Sin embargo, puesto que la segunda variable es una muestra de la primera, también se utilizó como criterio la proporción de nidos y hembras que se presentaron en las arribazones con respecto al total, en los "años sin" arribazones, ese porcentaje fue menor al 50%, mientras que superó ese valor en las temporadas tipificadas como "con arribazones".

Con el propósito de analizar las variaciones mensuales de las arribazones entre abril y julio, se describieron el número y el porcentaje de nidos y hembras que se presentaron en esos eventos. Los datos fueron expresados en porcentajes para obviar las diferencias entre años y por lo tanto, también fueron transformados con la función arco seno descrita en párrafos anteriores. Se aplicaron análisis de correlación similares a los elaborados con los datos anuales.

La duración de las temporadas fue definida arbitrariamente como el periodo entre la primera y última arribazón, ese lapso se correlacionó con la fecha de la primera arribazón, considerada como el inicio de la temporada, así como con el total de nidos y hembras de la temporada, el número total de arribazones y la proporción de nidos y hembras que se presentaron mensualmente.

#### *Distribución espacial de nidos y hembras.*

Entre 1966 y 1977 el área de anidación se dividió en zonas de diferente longitud delimitadas por rasgos geográficos, mientras que a partir de 1978 se colocaron estacas cada 300 m para ubicar con mayor precisión a los nidos y a las hembras. El campamento de Rancho Nuevo fue el punto de origen. Arbitrariamente los registros de las tortugas localizadas al Norte se han considerado como positivos (+) y los del Sur, como negativos (-).

La estrategia de trabajo fue agrupar los valores en tres escalas de tiempo. Las escalas diaria y anual incluyeron los datos del campamento de Rancho Nuevo de las temporadas comprendidas entre 1982 y 1998, mientras que la mensual fue trabajada con la información de los tres campamentos del intervalo 1992-1996. Para la escala diaria sólo se utilizaron los registros de las arribazones.

Los datos se organizaron en dos tipos de matrices, la primera con los registros de las ubicaciones tal y como fueron registradas y la segunda con los valores agrupados en espacios de 0.5 km. Los intervalos se ampliaron a 5 km cuando se analizaron los registros mensuales porque la longitud de la playa analizada fue de aproximadamente 100 km.

Se determinó la distribución de frecuencias de cada grupo de datos y sus parámetros estadísticos descriptivos. La distribución de frecuencias de un elevado número de temporadas se ajustó a la normal, por lo que fueron comparadas entre sí con análisis de varianza de una vía (ANDEVA), ya que según Montgomery (1984) esta prueba tolera desviaciones de la normalidad. Cuando no se cumplió con algunas de las condiciones del ANDEVA se utilizó el método de Kruskal - Wallis. Los métodos de comparaciones múltiples empleados fueron el de Duncan (Montgomery, 1984) y el de Newman-Keuls (Zar, 1996), respectivamente.

Estos métodos se aplicaron sobre la consideración de que las poblaciones que llegan cada año a la playa fueron independientes entre sí. Sin embargo, ya que es probable que una elevada proporción de las hembras mantenga ciclos reproductivos anuales (Márquez, 1994) y que esto reduzca la validez de los

análisis de varianza, también se utilizó el coeficiente de concordancia W de Kendall. Este es un método no paramétrico que mide la relación o concordancia entre varias muestras de la misma población, por lo que equivale al coeficiente de correlación múltiple (Siegel y Castellan, 1995). El índice W varía entre 0, cuando no hay concordancia alguna y 1, cuando es absoluta.

La comparación de la distribución diaria dentro de las temporadas fue realizada con cuatro tipos de análisis: ANDEVA paramétrico y no paramétrico, el de correlación por rangos de Spearman y el de concordancia de Kendall. Estos métodos se utilizaron con el propósito de comparar sus resultados ya que es probable que una elevada proporción de las hembras depositen más de un nido por temporada (Rostal et al., 1997), lo cual limitaría la validez de algunos análisis.

Los lugares de la playa en los que una mayor cantidad de hembras anidaron diariamente fueron determinados de acuerdo al valor de la media o de las modas, según la distribución de los datos; en el caso de las distribuciones multimodales, se asumió que cada moda correspondió a la media de conjuntos de datos normalmente distribuidos que estaban traslapados. Para separarlos se utilizó el método de Battacharya (Battacharya, 1967; Sparre, 1975)

La distribución de las observaciones sobre el perfil de la playa se describió de acuerdo con el diagrama de la Fig. III.2 (tomada de Márquez, 1994). Se utilizaron todos los datos y sólo se descartaron los de organismos muertos y de hembras que se estaban retirando de la playa o nadando. Se obtuvieron los parámetros descriptivos. La distribución sobre el perfil se relacionó con la ubicación a lo largo de la playa, para lo que se usó una matriz con los registros del intervalo de playa ubicado entre  $\pm 10$  km a partir de Rancho Nuevo

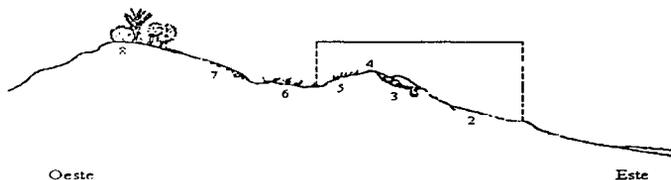


Fig. III.2.- Posición de las hembras sobre el perfil de la playa. Imagen tomada de Márquez, 1994.

#### *Distribución de los individuos.*

Las hembras se identificaron por los registros del Programa de Marcado. Los datos utilizados fueron los de las marcas metálicas, mientras que los de las electrónicas permitieron valorar la eficiencia del Programa, como se describe a continuación.

#### *Eficiencia del marcado.*

Desde 1966 se han colocado marcas metálicas en el tercer escudo de la aleta frontal derecha, mientras que a partir de 1988, también se han empleado PIT tags en la aleta izquierda, con el objetivo de desarrollar un programa de doble marcado para valorar las probabilidades de pérdida y retención de las marcas metálicas, de acuerdo a lo recomendado por diversos autores (Mrosovsky y Shettleworth,

1982; Saber, 1982). Por otra parte, esto también permitió estimar el número de hembras que fueron consideradas como dos individuos diferentes dentro de una temporada como consecuencia del desprendimiento de la grapa y su remarcado.

Dentro de las temporadas estas probabilidades se calcularon con los registros del periodo 1992-1998 de los tres campamentos para ampliar el tamaño de la muestra. En cada temporada, se utilizaron los individuos sujetos al programa de doble marcado en su primera captura y se registró el número de hembras que portaban uno o ambos tipos de marcas en su última observación.

Wheterall (1982) indica que la pérdida de marcas ocurre de tres formas: i) cuando la mayoría se pierde casi inmediatamente después de ser colocada; ii) cuando la pérdida ocurre de manera más o menos constante a lo largo del tiempo; iii) cuando se incrementa después de un lapso determinado. Para determinar a cual de estas formas corresponde la pérdida de marcas es necesario comparar las probabilidades de pérdida y retención en periodos más o menos constantes. Con el propósito de hacer esta evaluación se utilizó una segunda muestra, con los registros de los individuos que se observaron anidando exitosamente tres veces y cuyos periodos entre anidaciones consecutivas fueron mayores a 5 días, de acuerdo a los criterios de Bjnordal *et al.* (1996), por lo que se estimaron las probabilidades para los intervalos 1 y 2, que representan el periodo transcurrido entre la primera y segunda, y entre la segunda y tercera captura de un individuo dentro de una temporada

Las probabilidades de pérdida entre temporadas se estimaron con los datos de las hembras que fueron marcadas por primera vez en 1988, 1989 y 1992. Las probabilidades se obtuvieron con las funciones descritas por Wetherall (1982).

$$\kappa_{A_i} = F_{di} (r_{in} + r_{di})^{-1} \quad (III.4)$$

Donde:

$\kappa_{A_i}$ , Probabilidad de que la marca metálica (A) sea retenida.

$r_{di}$ , número de individuos recapturados con las dos marcas (A + B)

$r_{in}$ , número de individuos recapturados con marca interna (B).

Por lo tanto  $1 - \kappa_{A_i}$  es la probabilidad de que la marca metálica se pierda. Los intervalos de confianza fueron estimados con la ecuación de Limpus (1992):

$$\kappa_{A_i} \pm 1.96 [\kappa_{A_i} (1 - \kappa_{A_i}) / (r_{in} + r_{di})]^{0.5} \quad (III.5)$$

Las probabilidades fueron comparadas entre las temporadas y dentro de éstas, en el caso de las hembras que anidaron tres veces. Se utilizó la prueba de  $\chi^2$  aplicada a tablas de contingencia cuyas dimensiones variaron entre de  $2 \times 2$  y  $2 \times 7$ , con 1 y 6 grados de libertad, respectivamente.

También se determinó la probabilidad de que una tortuga fuera identificada incorrectamente; se consideraron como errores la variación en el número o en el tipo de caracteres alfanuméricos y los intervalos entre anidaciones menores a 5 días, particularmente cuando el número de huevos obtenido fue cercano a 100, ya que se supone que se requiere de un periodo más largo para que la ovulación y la formación del huevo se lleven a cabo.

La probabilidad de leer correctamente la secuencia alfanumérica ( $P_L$ ) y la de detectar los individuos que anidaron en intervalos menores a 5 días ( $P_I$ ) en cada una de las capturas de las hembras dentro de cada temporada, se calcularon con las siguientes ecuaciones:

$$P_L = (M_C) [M_C + M_E]^{-1} \quad (III.6)$$

$$P_I = (M_{I>5}) [M_{I<5} + M_{I>5}]^{-1} \quad (III.7)$$

Donde:

MI>5: Marcas metálicas observadas con intervalos mayores a 5 días

MI<5: Marcas metálicas observadas con intervalos menores a 5 días

MC: Marcas leídas correctamente con doble marcado (A o B).

ME: Marcas leídas con error con doble marcado (A o B).

#### Anidaciones consecutivas en una temporada.

Se determinaron las variaciones en la distribución de los organismos cuando anidaron más de una vez, con la consideración de que la periodicidad de la anidación y la fidelidad a la zona están determinadas genéticamente y que las diferencias en la ubicación entre anidaciones consecutivas podrían ser indicativas de la influencia ambiental. Los registros de hembras marcadas con marca metálica en Rancho Nuevo entre 1985 y 1995, y de los tres campamentos de 1992 a 1996 se utilizaron en el análisis. Se partió del supuesto de que la probabilidad de retención de estas marcas fue muy elevada dentro de estos períodos y que el registro de las cadenas alfanuméricas fue confiable.

Los datos se organizaron con un programa elaborado con la base de datos Clipper v. 3.1 (Villanueva, datos no publicados). Posteriormente las hembras remarcadas dentro de una temporada se corrigieron con la guía de la marca interna (PIT tag) y las marcas metálicas "viejas". Estas últimas fueron grapas que se reemplazaron al momento de la observación porque estaban mal puestas, en malas condiciones o a punto de caerse.

Para los análisis se utilizaron los registros de las hembras que ovipositaron las dos o tres veces que fueron observadas sobre la playa, sin que aparentemente fracasaran en algún intento. Los individuos que no pudieron anidar en alguna de sus estancias en la playa fueron identificados ("intentos fallidos"). Se calculó el tiempo que tardaron en retornar a la playa así como la distancia entre el intento y el nido depositado.

#### Distribución temporal e intervalos entre anidaciones.

Los datos de los nidos fueron organizados en orden cronológico, tanto los que fue posible relacionar con cada una de las tortugas identificadas ("anidaciones consecutivas"), e.g. el primer nido de las hembras que desovaron dos veces (1/2), como los que fueron localizados por las huellas de las hembras ("nidos solos"). Posteriormente, se calculó el promedio para cada una de las semanas con los registros del intervalo 1985-1996 y se estimó el coeficiente de correlación para los períodos en los que se traslaparon las distribuciones de cada una de las anidaciones y los nidos solos.

Se determinaron las distribuciones de frecuencia de los intervalos entre anidaciones consecutivas. Las distribuciones multimodales fueron separadas con el método de Battacharya (1967) y cada curva fue ajustada a la curva de Gauss con el método de optimización no lineal GRG2 de Lasdon y Warren (1986) incluido en la función SOLVER de la hoja de cálculo EXCEL 7.0. Los parámetros utilizados fueron la sumatoria de frecuencias, la media y la desviación estándar.

La comparación de los intervalos entre las temporadas se hizo con los métodos de Kruskal - Wallis y de Newman - Keuls. La duración de los intervalos 1 y 2 de las hembras que pusieron tres veces en una temporada fue contrastada con la prueba de Wilcoxon para muestras apareadas.

En los años en los que hubo más de un intervalo entre anidaciones, éstos se correlacionaron con la fecha en la que ocurrieron los desoves, aunque sólo se emplearon los datos de las arribaciones más abundantes. La periodicidad con la que regresaron entre los años fue estimada a partir de matrices de Leslie.

#### Distribución espacial.

La distribución de las hembras se describió a partir de los registros de las tortugas en las temporadas 1992-1996. Este intervalo fue seleccionado por la abundancia, la extensión de la cobertura de la protección ( $\approx 100$  km) y porque la proporción de hembras observadas en el campamento de Rancho Nuevo fue cercana al 70%. Los registros de éste último se agruparon en intervalos de 0.5 km y los de los tres campamentos en periodos de 5 km para suavizar las distribuciones de frecuencias.

Las ubicaciones de cada uno de los nidos consecutivos, se correlacionaron con el modelo por rangos de Spearman para evaluar la fidelidad de las hembras a una zona de la playa dentro de una temporada. La distancia entre nidos secuenciales se denominó arbitrariamente como "desplazamiento" y se clasificó como "absoluto" cuando midió la distancia entre los nidos, sin considerar el rumbo con el que se depositó la segunda anidación, y "neto", cuando se señaló el rumbo, por lo que los valores positivos indicaron que los nidos se pusieron al Norte y los negativos al Sur. Las medidas de tendencia central y de dispersión se escogieron de acuerdo con la distribución de frecuencia de los datos.

Se determinó la relación entre el desplazamiento y el tiempo transcurrido entre anidaciones, así como con la fecha en la que se depositó el primer nido del par analizado.

Las variaciones de las ubicaciones entre temporadas fueron descritas a partir del seguimiento de algunas hembras en el periodo 1992-1996. Se determinó la existencia de diferencias significativas entre los años con el método de Kruskal - Wallis. En este lapso también se cuantificaron los organismos que se desplazaron entre las playas protegidas desde los campamentos de Rancho Nuevo, Tepehuajes y Playa Dos.

## RESULTADOS

### Distribución de la población en la playa.

#### Distribución temporal.

Las variaciones anuales de la anidación entre 1966 y 1998 presentaron dos tendencias. Entre 1966 y 1987 decreció abruptamente, sin embargo, a partir de 1988 esto se revirtió (Tabla III.3), por lo cual en 1998 el número de nidos fue casi tres veces el de 1987.

Tabla III.3.- Tendencia de la anidación anual entre 1966 y 1998. Las pendientes de las ecuaciones de regresión indican el sentido de los cambios. Ambas regresiones fueron significativas al 95% de confianza y fueron realizadas con el logaritmo natural de las observaciones.

Intervalo	Regresión	F	r
1966-1987	$y = -0.09 x + 8.43$	118.43	0.92
1988-1998	$y = 0.09 x + 4.46$	51.33	0.9

La constancia de ambas tendencias dificulta determinar el efecto del ambiente en la anidación, por lo que se probaron dos indicadores: las anomalías y las diferencias en el número de nidos y hembras ("observaciones") entre años consecutivos ( $\Delta N$ ) entre 1978 y 1998

Las anomalías del número de nidos y hembras se calcularon de manera análoga a las meteorológicas por lo que la distribución de frecuencias resultante estuvo normalizada, sin embargo, estuvo sesgada a la derecha (Fig III.3 A), y la mayoría de los datos estuvieron agrupados alrededor de la media. La prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S d) permitió asumir que la distribución no fue normal (Tabla III.4)

En contraste, la distribución de frecuencias de las diferencias entre años consecutivos fue más cercana a la normal, como se desprende de la curva de frecuencias acumuladas (Fig III. 3 B) y de las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (K-S d); aunque su distribución también estuvo sesgada y fue leptokúrtica (Tabla III.4)

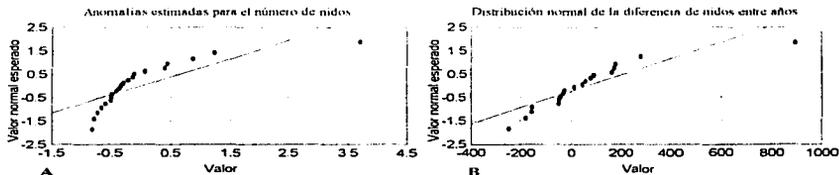


Fig. III.3.- Polígonos de la frecuencia acumulada de las anomalías (A) y las diferencias entre años consecutivos ( $\Delta N$ ) (B). El registro de la esquina superior derecha correspondió a 1998.

Tabla III.4.- Parámetros descriptivos de las distribuciones de frecuencias y resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S d).

	Anomalías	Diferencias
N	21	20
Media	-1.11E-16	66
Mínimo	-0.8	-247
Máximo	3.71	895
Desviación	1	243.95
Sesgo	2.85	2.095
Kurtosis	9.6	6.57
K-S d	0.26	0.17
significancia	p<0.10	p> 0.20:

En ambas variables se destaca el registro de 1998, cuando el elevado número de nidos depositados sugiere que hubo un incremento significativo en el reclutamiento al estrato de hembras maduras. Por otra parte, con excepción de la diferencia  $\Delta N$  entre 1998 y 1997 (895 registros), las variaciones anuales se encontraron entre -250 y 280 observaciones entre el resto de las temporadas (Fig. III.4).

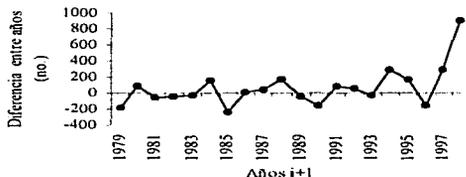


Fig. III.4.- Diferencias en el número de registros entre años consecutivos (i+1).

En la Fig III.5 se identificaron tres patrones de distribución en función del mes en el que se registraron más observaciones: entre abril y mayo, en mayo o entre mayo y junio. Cabe mencionar que la abundancia de junio presentó cierta regularidad, puesto que el análisis de autocorrelación mostró coeficientes significativos con desfases de 3 y 4 años, así como de 6 y 7 años (Tabla III.5). Los primeros fueron negativos y los segundos positivos, por lo cual, estos últimos podrían ser indicativos de la duración aproximada del ciclo. Sin embargo, la longitud de la serie de tiempo es insuficiente para determinar si la periodicidad es real.

Los análisis de correlación simple efectuados con los porcentajes mensuales fueron significativos, entre mayo y junio ( $r = -0.75$ ,  $N = 21$ ,  $p < 0.05$ ) y entre abril y junio ( $r = -0.50$ ,  $N = 21$ ,  $p < 0.05$ ); el signo negativo indica que cuando la anidación fue más abundante en mayo o abril, disminuyó en junio.

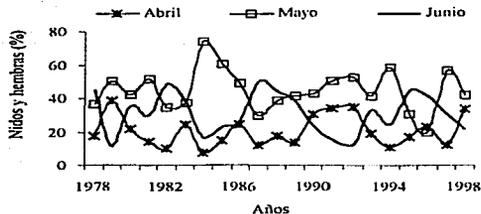


Fig. III.5.- Proporción mensual de los nidos y hembras, entre abril y junio. Se destaca la tendencia inversa entre abril y junio, así como la aparente regularidad de las oscilaciones de junio.

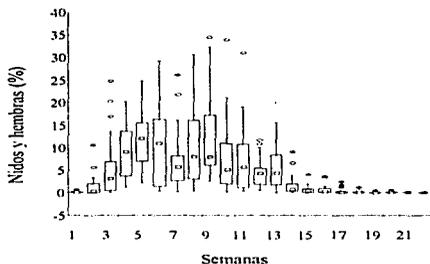
Tabla III.5.- Resultados del análisis de autocorrelación aplicado a la proporción de nidos depositados en junio. Los renglones en negritas muestran los desfasesamientos significativos.

Desfasamiento (años)	Coefficiente de autocorrelación.	Error estándar	Box & Ljung Q	p
1	0.13	0.2	0.41	0.52
2	-0.1	0.2	0.66	0.72
3	<b>-0.57</b>	0.19	9.29	<b>0.03</b>
4	<b>-0.31</b>	0.19	12.04	<b>0.02</b>
5	0.06	0.18	12.13	0.03
6	<b>0.23</b>	0.18	13.9	<b>0.03</b>
7	<b>0.26</b>	0.17	16.25	<b>0.02</b>
8	0.03	0.16	16.29	0.04
9	-0.09	0.16	16.62	0.06
10	-0.17	0.15	17.86	0.06
11	-0.09	0.14	18.22	0.08
12	0	0.14	18.22	0.11

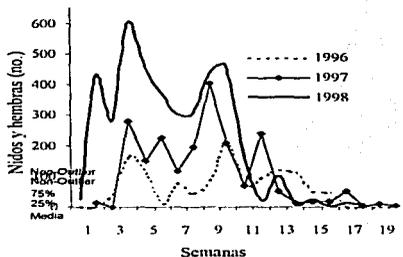
La distribución del intervalo 1989 - 1993, que fue de especial interés porque se correlacionó con datos e indicadores de la temperatura superficial marina (ver Capítulo IV), se presentaron dos tipos de distribución: la primera detectada en 1989 y 1993, cuando las hembras anidaron en mayor cantidad hacia finales de mayo y en junio, y la segunda reportada entre 1990 y 1992, cuando lo hicieron entre abril y mayo (Fig. III.6).

En relación con las variaciones semanales de la abundancia se encontró que la distribución de los datos fue normal en abril y a principios de mayo (semanas 1-6), sin embargo, posteriormente estuvo sesgada hacia la derecha por los resultados de 1998 (Fig. III.6 A).

En la Fig. III. 6 A se aprecia que el número de observaciones fue cuantioso en dos periodos, el primero abarcó de la tercera a la sexta semanas; mientras que el segundo, de la octava a la undécima semana, cuando la abundancia correspondió al 5 y 18% de la anidación total. Aparentemente también hubo un pequeño incremento en la treceava semana.



A



B

Fig. 111.6.- Abundancia semanal entre 1978 y 1998. La primera semana correspondió al intervalo del 1 al 7 de abril. A) Datos expresados en porcentaje. B) Registros de 1996-1998.

El método de Kruskal - Wallis mostró diferencias significativas entre las semanas ( $H(9, N=210) = 90.8$ ,  $p < 0.001$ ;  $\chi^2 = 58.79$ ,  $g.l = 9$ ,  $p < 0.001$ ), pero el de comparaciones múltiples sólo permitió agrupar a las primeras dos semanas y las comprendidas entre la 14 y la 21, cuando la abundancia fue mínima, entre la tres y la 13 no hubo diferencias significativas, posiblemente por la dispersión de los datos.

Entre 1996 y 1998, cuya distribución se correlacionó con la temperatura superficial marina, la anidación fue abundante en la cuarta, novena y décima semanas (Fig. 111.6 B); aunque, en 1996 se registró un pequeño incremento al final de la temporada (semanas 13 y 14), y en 1998 se adelantó.

El número de observaciones diarias mostró grandes diferencias entre temporadas, determinadas por las arribaciones. El análisis espectral permitió detectar 6 ciclos, variables entre 3 y 22 días (Fig. 111.7). La densidad espectral más significativa correspondió al pico de 7 días, cuya amplitud media cuadrática fue de 3.1 nidos seguido por el de 22 días, cuya amplitud fue de 2.8 nidos. La magnitud de las amplitudes medias cuadráticas fue proporcional a la abundancia de los nidos depositados con esas frecuencias, ya que representa el promedio de las amplitudes de temporadas con anidaciones abundantes y escasas

En relación con la distribución horaria, cabe señalar que en el lapso 1982-1994 las hembras "preferieron" anidar entre las 10 y 16 horas. El análisis de componentes principales de los registros de las arribaciones indicó que el 32 % de la varianza del Factor 1 fue explicada por los datos de los intervalos de las 6 a las 12 y de las 14 a 18 hrs. En el Factor 2, que contabilizó el 21%, el mayor peso correspondió a los organismos que desovaron entre las 12 y 14 hrs, mientras que en el Factor 3, que explicó el 14 % de la varianza, a las hembras que llegaron entre las 14 y 16 hrs. De la sumatoria de estos dos últimos se desprende que el 35 % de la varianza correspondió a las anidaciones que se efectuaron entre las 12 y 16 horas

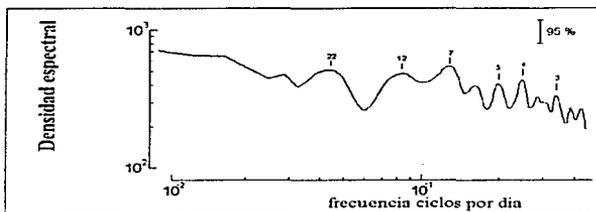


Fig. III.7.- Espectro de frecuencias de las observaciones diarias. Las amplitudes medias cuadráticas de los periodos se muestran entre paréntesis y sus unidades son el número de nidos: 3 (2.4), 4 (2.6), 5 (2.5), 7 (3.1), 12 (2.7), 22 (2.8)

Sin embargo, hubo amplias fluctuaciones entre los años, en algunos, los organismos desovaron aproximadamente a la misma hora en casi todas las arribazones, mientras que en otros, la anidación estuvo más dispersa (Fig. III.8). Este comportamiento no permitió establecer un "patrón" de distribución general, como se desprende de la falta de ajuste entre la distribución de frecuencias de 1.56 días y la promedio, de acuerdo con la prueba de  $\chi^2$  aplicada

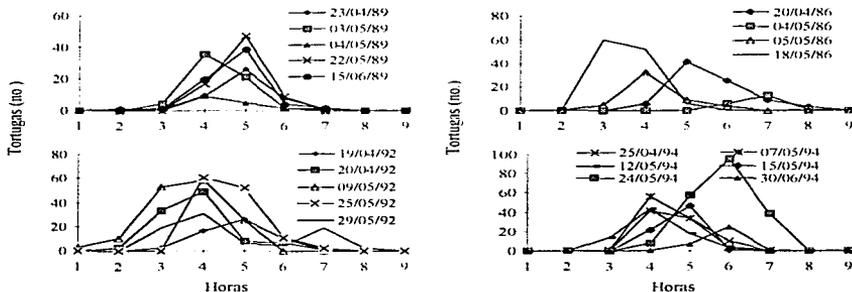


Fig. III.8.- Distribución horaria de algunas temporadas. En los años de la columna derecha, la anidación ocurrió aproximadamente a la misma hora, mientras que en los de la izquierda estuvo más dispersa. La numeración del eje de las abscisas indica intervalos de 2 horas. El 1 corresponde al lapso de las 4:00 a las 6:00 hrs.

En algunas temporadas hubo variaciones muy marcadas en el horario en que las hembras subieron a la playa antes, durante y después de las arribazones. Esto fue particularmente notorio en 1994 (Fig. III.8)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

puesto que en los días previos y los posteriores al 24 de mayo, la mayoría de las hembras llegaron a la playa entre las 10 y 14 horas. Ese día, cuando se registró la arribazón más abundante, fueron más numerosas entre las 12 y 16 horas. Por otra parte, al comparar la sincronización entre el desove a lo largo de la playa protegida ( $\approx 100$  km), se encontró que, aunque una elevada proporción de las hembras anidó aproximadamente en las mismas fechas (Fig. III.9), hubo variaciones entre las temporadas. Los coeficientes de correlación obtenidos con los registros diarios de 5 años (Tabla III.6), mostraron que entre Rancho Nuevo y Tepchuujes la sincronía fue mayor en el lapso 1992-1994, y disminuyó abruptamente en años posteriores.

Tabla III.6.- Coeficientes de correlación obtenidos entre la anidación depositada diariamente en los campamentos periféricos y Rancho Nuevo. El tamaño de muestra por temporada fue de 153 días.

Campamentos	R. Nuevo	P	Tepchuujes	P
	$r$		$r$	
Tepchuujes (92-96)	0.77	0.01		
1992	0.90	<0.01		
1993	0.90	<0.01		
1994	0.91	<0.01		
1995	0.50	0.09		
1996	0.58	<0.01		
Playa Dos (93-96)	0.59	0.05	0.51	0.05
1993	0.44	0.058	0.34	0.15
1994	0.67	0.04	0.60	<0.01
1995	0.67	0.01	0.81	<0.01
1996	0.59	0.01	0.32	0.03

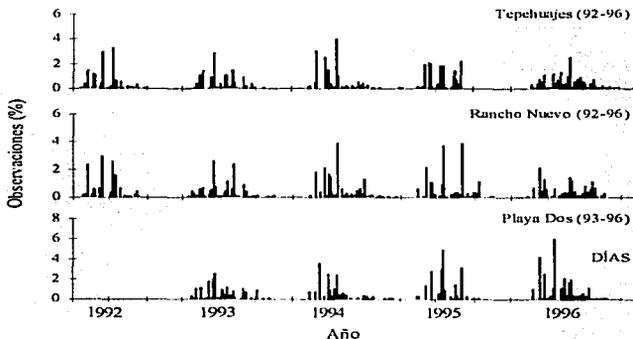


Fig. III.9.- Distribución temporal en los tres campamentos. Los datos se expresaron en porcentaje para destacar la sincronía con la que llegaron las hembras a lo largo de la playa.

En contraste, entre Playa Dos y Rancho Nuevo, los coeficientes se incrementaron en 1994 y 1995. Entre Tepehuajes y Playa Dos el coeficiente más elevado correspondió a 1995. Cabe señalar que antes de 1995, la duración de las arribaciones a lo largo de toda la playa fue de uno o dos días, mientras que en ese año y el siguiente, algunos eventos se prolongaron hasta por tres días en Rancho Nuevo, mientras que en Tepehuajes y Playa Dos fueron más breves, lo que posiblemente disminuyó el valor de los coeficientes r.

*Características de las arribaciones.*

La reunión de hembras en grandes cantidades para desovar es una singularidad de éste género (Márquez, 1994), aunque por las condiciones de esta población, se consideró como arribazón al agrupamiento de más de 50 hembras en un solo día. El número de eventos promedio entre 1978 y 1996 fue de  $5.3 \pm 1.6$  arribaciones por temporada, aunque en 1997 y 1998 se incrementó de manera paralela a la abundancia, como lo mostraron los análisis de regresión (Fig. III.10A). El primero de ellos se elaboró entre el número de arribaciones y la abundancia de nidos y hembras por temporada, y el segundo con la abundancia anual y la correspondiente a las arribaciones. Ambos fueron significativos ( $p < 0.01$ ).

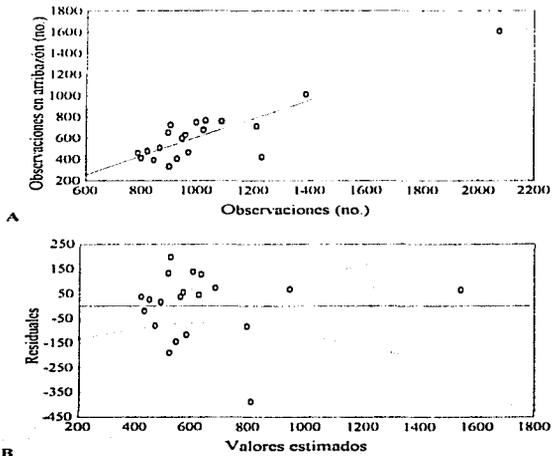


Fig. III.10.- Relación entre la anidación total y la que se presentó en las arribaciones. Los residuales se presentan en la figura B. Los puntos fuera de las bandas de confianza del 95% correspondieron a los años "con" arribaciones (positivos) y "sin" arribaciones (negativos) y se señalan en la tabla III.7.

Los residuales estandarizados del segundo análisis permitieron cuantificar el grado de "agregación" de la población anidadora; en los años "con arribazones" los residuales fueron mayores a 0.5 y "sin" arribazones cuando fueron menores a -0.5 (Fig. III.10B).

El porcentaje de las observaciones obtenidas durante esos eventos varió entre el 34 y el 80%. Los cambios de esta proporción aparentemente fueron cíclicos (Fig. III.11A).

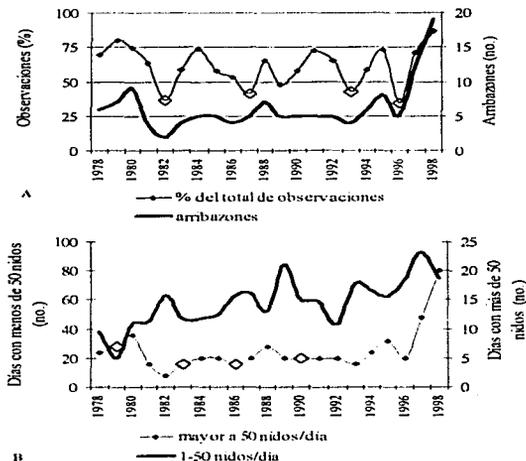


Fig. III.11.- Arribazones en Rancho Nuevo. A) Cantidad y proporción de nidos y hembras detectadas en estos eventos entre 1978 y 1998. Los rombos vacíos muestran los años "sin arribazones". B) Variabilidad de los días con y sin arribazones.

En los años "sin" arribazones, destacados con los rombos vacíos en la Figura III.11, más del 50% de las hembras se presentaron de manera solitaria. Sin embargo, eso no significa que las arribazones de esos años hayan sido escasas, así por ejemplo, en 1982 se presentó una de las mayores agrupaciones (227 tortugas), a pesar de que sólo el 34% de las anidaciones se realizaron durante esos eventos.

En general, las arribazones se presentaron entre las dos últimas semanas de abril y mediados de junio, en intervalos variables entre 1 y 10 días (Fig. III.12A), aunque los más frecuentes fueron de

1, 3, 6 y 7 días. Los dos primeros posiblemente correspondieron a los eventos que duraron dos ó tres días.

Esos lapsos se modificaron a lo largo de las temporadas: en las primeras semanas, la mayoría fueron menores a 5 días; mientras que a partir de la segunda semana de mayo se presentaron los más largos (Fig. III. 12B)

Sólo en algunas temporadas los intervalos más frecuentes fueron superiores a 20 días. La abundancia de las hembras en las arribazones no se relacionó con los intervalos (Fig. III. 12C), aunque algunas de las arribazones más concurridas se detectaron en intervalos mayores a 10 días

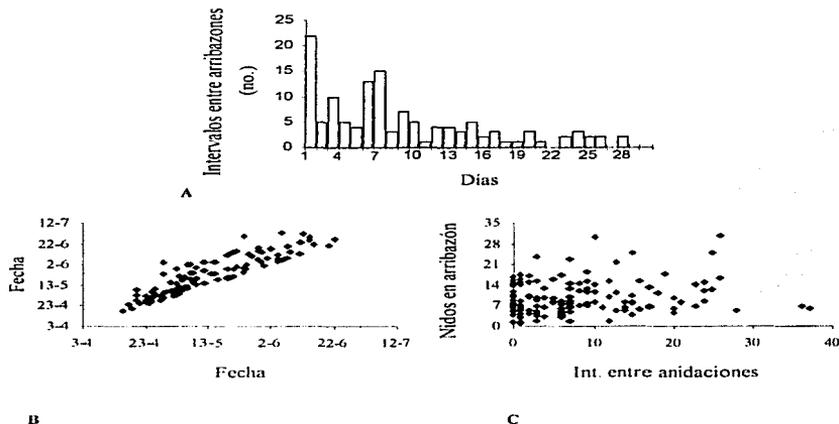


Fig. 111.12.- Características de los intervalos entre las arribazones ocurridas entre 1978 y 1998. N=132 arribazones. A) Distribución de las frecuencias. B) Duración de los intervalos de acuerdo a la fecha de la primera arribazón (día / mes). C) Relación entre el porcentaje de la anidación detectado en las arribazones y los intervalos entre ellas.

Las arribazones fueron más frecuentes en mayo, cuando la moda fue de tres (Tabla III.7). En abril la moda fue de dos, sin embargo, en la mayoría de los años "sin arribazones" fue igual o menor a uno. Por otro lado, sin considerar los años en que no hubo arribazones, el porcentaje de los nidos y las hembras presentes en estos eventos fue menos variable en abril, que en mayo y junio.

Tabla III.7.- Distribución mensual de las arribazones y de la proporción de nidos y hembras (observaciones) que se presentaron en estos eventos. Los renglones sombreados señalan a los años "sin" arribazones y los destacados en negritas a los años "con" arribazones.

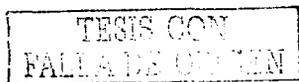
Año	Total (no.)		Arribazones (no.)				Nidos y hembras que se presentaron en arribazones. (%)			
	Anidaciones solitarias	Arribazones	Abril	Mayo	Junio	Julio	Abril	Mayo	Junio	Julio
1978	38	6	1	2	3	0	67.2	85.8	57.5	0
1979	20	7	2	4	1	0	77.1	83.6	73.5	0
1980	43	9	2	4	3	0	70.5	71.8	82.7	0
1981	45	4	1	2	1	0	50	64.4	76.1	0
1982	63	2	0	1	1	0	0	18.2	63	0
1983	47	4	1	2	1	0	56.9	78.2	40.7	0
1984	47	5	0	4	1	0	0	88.4	49.7	0
1985	50	5	1	3	1	0	50	58.9	66.5	0
1986	63	4	1	3	0	0	60.3	75	0	0
1987	64	5	1	3	2	0	80.8	59.8	37.2	0
1988	52	7	1	3	3	0	61.8	61.8	71.1	0
1989	84	5	1	3	1	0	52.3	69.5	31.9	0
1990	60	5	2	2	1	0	72.1	68.8	27.5	0
1991	58	5	2	2	1	0	73.4	78.2	55.1	0
1992	43	5	2	3	0	0	64.4	82.1	0	0
1993	71	4	0	2	2	0	0	54.6	61.7	0
1994	66	6	1	4	1	0	80.5	74.9	25.3	0
1995	62	8	2	3	2	1	80.7	77.7	68.7	64.1
1996	74	5	2	0	2	1	70.1	0	31	33
1997	93	12	2	5	5	0	85.1	87	71.7	0
1998	75	19	7	9	4	0	67.9	88.8	73.2	0

Los métodos aplicados entre el número de arribazones y la abundancia anual mostraron relación entre las variables, sin embargo, puesto que existía la posibilidad de que la abundancia y el número de arribazones de alguno de los meses tuviera mayor peso dentro de la temporada, se hicieron análisis de correlación con dos tipos de datos.

En el primero se utilizaron el número de arribazones de la temporada y de cada mes. Los resultados (Tabla III.8) muestran que las arribazones de abril, pero particularmente las de mayo, definieron el total anual. El coeficiente negativo obtenido en junio ( $r=-0.76$ ,  $p<0.05$ ) sugiere que la tendencia creciente fue menos evidente.

En el segundo análisis las variables fueron el número de arribazones, la proporción de la anidación que se presentó en esos eventos, y el porcentaje de las observaciones totales que correspondió a cada uno de los meses, los resultados sólo fueron significativos cuando se analizaron los datos del mismo mes (Tabla III.8). La única excepción fue el coeficiente negativo obtenido entre el número de arribazones de julio y las otras dos variables registradas en mayo.

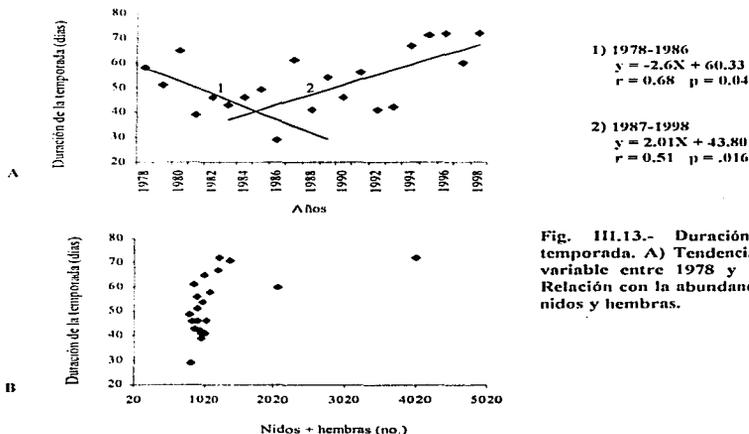
Estos análisis mostraron que el número de arribazones y la cantidad de tortugas que exhibieron esta conducta en un mes en particular, no influyeron en los otros meses, lo que sugiere que las agrupaciones se formaron de manera independiente.



**Tabla III.8.- Coeficientes de correlación obtenidos entre el número de arribazones de las temporadas y en cada uno de los meses y la proporción de las observaciones mensuales y en las arribazones. Los datos en negritas fueron significativos al 95% de confianza.**

Arribazones		Proporción mensual del total de registros		
Mensuales	Anuales	Abril	Mayo	Junio
Abril	0.57	0.63	-0.18	-0.26
Mayo	0.67	-0.16	0.63	-0.36
Junio	-0.76	-0.29	-0.20	0.45
Julio	0.13	0.02	-0.55	0.30
		Proporción de los registros obtenidos en arribazón		
Abril	0.24	0.85	-0.06	-0.07
Mayo	0.056	-0.23	0.67	-0.27
Junio	-0.05	-0.35	-0.37	0.46
Julio		0.37	-0.45	0.11

La duración de la temporada de anidación (D) podría acotarse por la primera y la última arribazón, sobre el supuesto de que entre estos dos eventos desova la mayoría de las hembras. De acuerdo con ese criterio, D varió entre 29 y 72 días y su tendencia fue similar a la descrita para la abundancia (Fig. III.13A)



**Fig. III.13.- Duración de la temporada. A) Tendencia de esta variable entre 1978 y 1998. B) Relación con la abundancia de los nidos y hembras.**

Sin embargo, la correlación entre D y la abundancia fue menor ( $r = 0.51$ ,  $p = 0.016$ ) entre 1987 y 1998, que entre 1987 y 1996 ( $r = 0.68$ ,  $p < 0.01$ ), a pesar del incremento exponencial de los nidos en los dos

últimos años del periodo analizado (Fig. III.13B); por otra parte, la correlación con la abundancia mensual sólo fue significativa con abril, aunque al 90% de confianza ( $r=-0.41$ ,  $N= 19$ ,  $p= 0.078$ ). En comparación, la duración de la temporada no estuvo relacionada con el número de arribazones, excepto en 1997 y 1998 ( $r=0.56$ ;  $N = 21$ ;  $p = 0.008$ ), ya que sin ellos fue poco significativo.

#### Distribución espacial.

Gracias al incremento significativo de la franja de playa protegida en los últimos 20 años (Márquez *et al.*, 2001) fue evidente que más del 80% de las hembras anidaron en una sección de  $\pm 10$  km a partir del campamento de Rancho Nuevo. Los nidos fueron más abundantes hacia el Norte en todas las temporadas; aunque desde 1993 se incrementaron en el Sur (Fig. III.14).

El percentil del 25%, que muestra la abundancia al Sur del campamento, se mantuvo entre los kilómetros 0.8 y -2 entre 1982 y 1990. En 1993 presentó el incremento más conspicuo (3.3 km), por lo que en años posteriores alcanza el kilómetro -6.

El percentil de 75%, que indica los cambios de la anidación al Norte, se encontró entre los kilómetros 2.5 y 5.6 entre 1983 y 1988; en 1989 alcanzó el kilómetro 10.8 y posteriormente se mantuvo alrededor del 7. Al Norte de la playa los cambios han sido menores, ya que con la excepción de 1989 (+5.11) y 1990 (-3.21 km), han fluctuado entre -0.6 y +1.6 km.

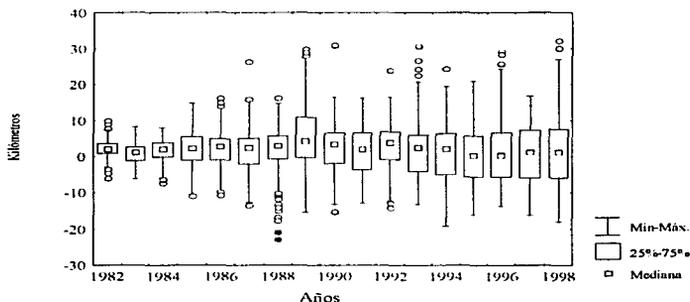


Fig. III.14.- Franja de la playa en la que se distribuyen las hembras dentro del área de cobertura del campamento de Rancho Nuevo. Las cajas muestran los datos entre los cuartiles de 25 y 75%. El origen hace referencia al campamento de Rancho Nuevo.

Sin embargo, las hembras no se distribuyeron de manera uniforme sobre la playa. Entre 1982 y 1984 se concentraron sólo en una sección, mientras que en años posteriores se agruparon alrededor de dos o más zonas, ubicadas entre los kilómetros -2 y -6 al Sur, y entre los kilómetros +1 y +7 al Norte del campamento de Rancho Nuevo.

Las variaciones entre temporadas fueron evaluadas con análisis de varianza paramétricos y no paramétricos y de comparaciones múltiples, así como con el análisis de correlación de Spearman entre

pares de años. Los dos primeros ( $T=39$ ,  $p=0.01$ ;  $H(16, N=17859)=271.49$ ;  $p=0.001$ ) mostraron que la distribución de las hembras en 1989 y 1992 fue diferente de otras temporadas (Fig. III. 14). En 1989 el área de anidación fue más amplia, por lo que la mediana y la media estuvieron próximas al kilómetro 5, mientras que en otras temporadas estuvieron más cercanas al cero. En 1992 las tortugas se concentraron en una franja más estrecha y hacia el Norte del campamento. Por otra parte, los coeficientes de correlación *rho* de Spearman entre pares de años sugirieron que la distribución sólo fue diferente en 1997 y 1998, particularmente cuando se relacionaron con los datos del primer y segundo lustro de los 80's, respectivamente.

Las diferencias entre los resultados de ambos métodos sugieren que los cambios ocurridos entre 1982 y 1996 fueron menores a los que se presentaron en 1997 y 1998, años que se caracterizaron por el incremento exponencial de la abundancia y en las que las hembras se agruparon en dos áreas bien definidas.

Cabe señalar que uno de los requisitos de ambos métodos es la independencia entre los grupos analizados (Underwood, 1997). Las variaciones de la anidación anual indican una fuerte mortalidad entre 1966 y 1987, así como una elevada tasa de reclutamiento desde 1988, y permiten suponer que la tasa de retorno de las hembras fue baja. Sin embargo, Márquez (1994) y Márquez *et al.* (1998) señalaron que la proporción de hembras reemigrantes ha sido alta, lo que significa que podría existir cierto grado de dependencia entre las temporadas. En consecuencia también se calculó el coeficiente de concordancia *W* de Kendall, el cual es equivalente al coeficiente de correlación múltiple. No obstante, aunque fue significativo ( $W=0.79$ ,  $\chi^2_{16} = 5968.09$ ,  $g.l. = 16$ ,  $N=467$ ), no permitió distinguir a las temporadas menos "concordantes".

Para subsanar esta deficiencia se aplicó el método de Kendall por pasos. En la Tabla III. 9 cada coeficiente representa la concordancia entre el año anotado en el encabezado de la columna y el (los) año(s) comprendido(s) entre el año correspondiente al valor superior de la columna y el año de interés, e.g. el 0.66 que se encuentra en el cruce de la columna de 1982 y el renglón de 1991, fue obtenido entre los años comprendidos en el lapso 1982-1991

Tabla III.9.- Coeficientes de concordancia *W* de Kendall. En negritas se muestran valores extremos y el sombreado destaca los resultados de 1989 y 1992. Ver explicación en el texto.

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
1983	0.98															
1984	0.79	0.24														
1985	0.71	0.41	0.51													
1986	0.64	0.38	0.41	0.27												
1987	0.65	0.45	0.58	0.82	1											
1988	0.69	0.55	0.67	0.93	1	1										
1989	0.63	0.47	0.57	0.76	0.81	0.85	0.98									
1990	0.6	0.46	0.56	0.72	0.72	0.72	0.86	0.46								
1991	0.66	0.53	0.63	0.8	0.8	0.79	0.83	0.85	0.98							
1992	0.66	0.54	0.64	0.79	0.77	0.73	0.72	0.68	0.57	0.014						
1993	0.68	0.57	0.66	0.81	0.78	0.72	0.67	0.68	0.53	0.02	0.03					
1994	0.73	0.66	0.74	0.86	0.84	0.81	0.79	0.81	0.77	0.62	0.76	1				
1995	0.8	0.73	0.8	0.89	0.88	0.86	0.85	0.88	0.86	0.81	0.9	0.99	0.99			
1996	0.85	0.78	0.84	0.91	0.9	0.89	0.89	0.91	0.91	0.88	0.94	0.98	0.96	0.92		
1997	0.81	0.77	0.81	0.86	0.85	0.83	0.83	0.84	0.81	0.78	0.78	0.74	0.67	0.49	0.32	
1998	0.79	0.76	0.79	0.83	0.81	0.79	0.78	0.78	0.74	0.7	0.68	0.6	0.55	0.46	0.42	0.46

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En tres periodos (Tabla III.9) el coeficiente  $W$  se encontró entre 0.98 y 1: 1982-1983, 1986-1988 y 1993-1996, lo que sugiere que la distribución fue muy similar entre esos años. En contraste, los coeficientes más bajos, correspondientes al intervalo 0-0.4, se presentaron entre 1983 y 1986, 1991 y 1993 así como entre 1996 y 1998, lo que sugiere que esos tres periodos fueron etapas de transición en la forma como se distribuyeron las hembras.

Los coeficientes  $W$  obtenidos con 1989 y 1992 fueron revisados con mayor cuidado por los resultados de los ANDEVAS (ver renglones sombreados en la Tabla III.9). Los coeficientes estimados desde 1982 presentaron ligeros decrementos cuando se incluyeron los datos de 1989 y 1990, mientras que la concordancia de 1992 fue mínima con 1991 y 1993, y se incrementó significativamente con 1995 y 1996.

Dentro de las temporadas, las diferencias entre los patrones de distribución fueron relativamente pequeñas entre los meses ( $\rho = 0.6$ ;  $p < 0.05$ ) y dependieron de la abundancia. Cuando la anidación se retrasó y las tortugas escasearon en abril (e.g. 1989 y 1993), las agrupaciones fueron evidentes hasta mayo (modas en la Fig. III.15) y las correlaciones fueron mayores hacia el final de la temporada. En contraste, cuando las hembras fueron abundantes en abril, los coeficientes  $\rho$  fueron mayores entre los primeros meses (e.g. abril-mayo de 1990 y 1991).

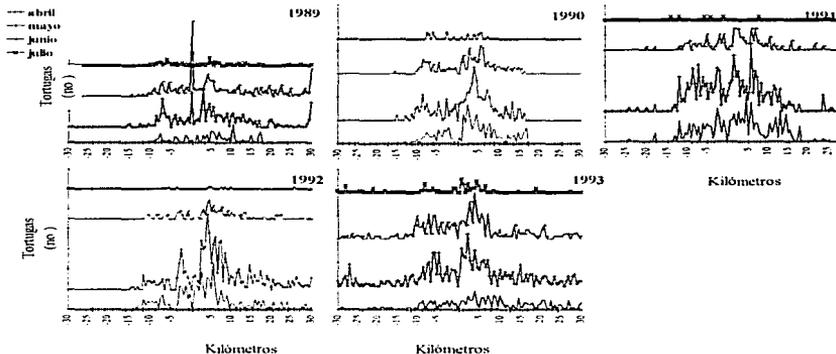


Fig. III. 15.- Distribución mensual de las observaciones. En la gráfica no se presenta la escala vertical porque se pretende destacar la similitud entre los meses, así como la relación entre la abundancia de abril y la acumulación de las hembras en regiones específicas.

En párrafos anteriores se describieron las variaciones en el área protegida desde el campamento de Rancho Nuevo, por lo que para analizar los cambios sobre un área más extensa se incluyó la franja protegida por los otros campamentos entre 1992 y 1996. Los resultados mostraron que la distribución fue similar entre los meses y las modas fueron más o menos evidentes en función de la abundancia.

En comparación con la distribución mensual, la diaria varió entre uni y polimodal y fue independiente de la abundancia, lo que permitió descartar la suposición de que esos patrones resultaron de un número insuficiente de observaciones, pero limitó el uso de los métodos estadísticos empleados en las comparaciones.

La similitud de la distribución diaria dentro de las temporadas se infirió a través del análisis de correlación de Spearman aplicado a las arribazones. Estas últimas fueron organizadas en tres conjuntos: los registros totales (intervalo  $\pm 10$  km) y los ubicados en las Secciones del Norte (0 a +10 km) y Sur (0 a -10 km). Los primeros proporcionaron un indicador de la similitud entre los días, independientemente de la preferencia de las hembras por una zona de la playa, mientras que los efectuados con las secciones Norte y Sur, brindaron una idea sobre la región en la que la anidación fue más abundante. La proporción de coeficientes significativos fue mayor entre 1982 y 1988 y disminuyó en años posteriores (Tabla III. 10).

Tabla III.10. Proporción significativa de las correlaciones de Spearman realizadas con los datos del intervalo  $\pm 10$  km. Las proporciones de los intervalos + ó - 10 km representan los días en que los coeficientes *rho* sólo fueron significativos con los registros de esa área.

Año	Arribazones	Fechas	Correlaciones (no.)	Coeficientes significativos al 95% (%)		
				$\pm 10$	Norte +10	Sur -10
1982	5	1/V - 2/VI	10	10	50	0
1983	6	26/IV-26/VI	15	13	53	6
1984	5	5/V - 19/VI	10	20	40	10
1985	8	20/IV - 13/VI	28	50	18	7
1986	5	20/IV - 5/VI	10	20	30	0
1987	9	30/IV - 30/VI	36	11	22	5
1988	11	25/IV - 8/VI	55	11	11	4
1989	6	23/IV - 15/VI	15	0	0	13
1990	5	28/IV - 12/VI	10	10	40	0
1991	6	20/IV - 14/VI	15	0	33	0
1992	9	19/IV - 4/VI	36	22	33	5
1993	11	19/IV - 22/VI	55	7	16	7
1994	11	25/IV - 30/VI	55	2	11	7
1995	9	1/IV - 2/VI	36	14	8	5
1996	12	15/IV - 8/VI	66	15	9	6
1997	15	23/IV - 26/VI	105	12	6	3
1998	19	12/IV - 26/VI	171	22	16.3	22

En la mayoría de las temporadas los coeficientes significativos estimados con la sección del Norte fueron más abundantes. Las excepciones fueron 1985 y el lapso 1995-1998, cuando las hembras anidaron tanto en el Norte como en el Sur. Por otra parte, en contra de lo que se esperaba, en 1989 no hubo coeficientes significativos entre los registros de la sección del Norte, posiblemente porque en esa temporada las hembras estuvieron más dispersas o anidaron más allá del kilómetro +10.

Los coeficientes significativos obtenido con los datos del Sur se incrementaron ligeramente a partir de 1993, mientras que en 1989 y 1998 superaron a los del Norte, lo que indica que la anidación se concentró en esa sección durante algunos días.

Cabe mencionar, que si bien la distribución de un día en particular fue independiente de la abundancia de ese momento, es probable que la tendencia de la variabilidad a lo largo del tiempo este relacionada con la abundancia de la población, como lo muestran los coeficientes de concordancia W. Estos fueron significativos casi todos los años (Tabla III.11) y su magnitud estuvo inversamente relacionada con la variabilidad diaria.

Entre 1982 y 1987 los coeficientes W siguieron una tendencia decreciente, representada por la función lineal:  $y = -0.076x + 0.52$  ( $r^2 = 0.71$ ;  $p < 0.01$ ). Por el contrario, el aumento paulatino de W detectado a partir de 1988, sugiere que la variabilidad diaria ha disminuido. Esa tendencia fue descrita con la función:  $y = 0.028x - 0.048$  ( $r^2 = 0.72$ ,  $p < 0.01$ ). La regularidad de las variaciones de W (excluyendo a 1996) y su similitud con las de la abundancia permitieron suponer que hubo relación entre ambas variables.

Tabla III.11.- Coeficiente de concordancia W de Kendall. Información del área comprendida entre los kilómetros  $\pm 10$  a partir de Rancho Nuevo. Con excepción de 1987 cuya significancia  $p$  fue de 0.06, el resto fue menor a 0.001.

Año	W	$\chi^2$	g.l.	Año	W	$\chi^2$	g.l.	Año	W	$\chi^2$	g.l.
1982	0.34	48.4	4	1988	0.14	57.9	10	1994	0.32	128	10
1983	0.41	63.7	5	1989	0.18	36.9	5	1995	0.47	156	8
1984	0.45	58.4	4	1990	0.14	23.8	4	1996	0.09	42.6	11
1985	0.22	63.7	7	1991	0.28	58.5	5	1997	0.33	191	14
1986	0.10	17.4	4	1992	0.23	72.7	8	1998	0.40	301	18
1987	0.04	14.5	8	1993	0.27	108.2	10				

#### *Posición sobre el perfil de la playa*

En la mayoría de las temporadas analizadas, la posición preferida de las tortugas sobre el perfil de la playa fue la tres, con la excepción de 1980 y 1989 cuando una elevada proporción de los nidos fueron depositados en la dos (Tabla III.12).

Tabla III.12.- Distribución de los nidos sobre el perfil de la playa. Los datos están expresados en porcentaje. En los años en los que no se obtuvo el 100%, la diferencia correspondió a los nidos sin referencia a la posición.

Año	Posición					Año	Posición				
	1	2	3	4	5-8		1	2	3	4	5-8
1967	5.2	19	12.7	2.7	0.7	1985	0.3	17.6	51.1	18.3	4.2
1972	1.7	8.5	12	6	0.9	1986	0.6	17	55.8	13.4	3
1973	0.4	1.7	3.4	0.4	0.9	1987	1.2	24.5	45.4	12.1	3.7
1974	0	1.3	1.6	1.3	0.6	1988	0.4	25.1	43.3	16.2	3
1979	0.1	3.6	10.5	13.5	13.4	1989	10.1	41.9	26.8	7.8	3.5
1980	14.3	31.2	21.6	11.9	7.9	1990	1.9	25.4	42.7	12.9	10.9
1981	0.1	18.2	52.5	15.9	8.4	1991	0.8	13.2	52.4	20.2	5
1982	0.9	32.2	39.5	13.5	3.2	1992	1.3	25.2	55.6	15.7	2.2
1983	0.6	7.9	48.7	22	13.9	1993	2.1	15.2	67.3	13.5	1.9
1984	0.5	10	49.4	26.6	8.5	1994	1.2	24.9	64.7	8.4	0.7
1985	0.3	17.6	51.1	18.3	4.2	1995	0.6	15.1	71.4	11.8	1.1

Al analizar la preferencia por las zonas dos o cuatro en fechas específicas, se observó que en cuatro arribazones de 1980, una de 1982 y en dos de 1989, el desove fue mayor en la dos; mientras que la

zona cuatro fue utilizada por unos cuantos organismos. Por otra parte, la preferencia por una posición fue independiente de la ubicación de las tortugas entre los kilómetros  $\pm 10$  a partir de Rancho Nuevo.

#### *Distribución de los individuos en el tiempo y el espacio.*

Como se mencionó en la sección de métodos, el primer paso fue evaluar la eficiencia con la que se utilizaron las marcas. Esto permitió determinar la confiabilidad de los datos obtenidos con el uso de estos artefactos

#### *Evaluación de la eficiencia del marcado dentro de cada temporada.*

La proporción de hembras liberadas con marca metálica después de la primera captura de cada temporada fue cercana al 100%, mientras que el porcentaje portador de marca interna varió entre el 60 y el 90%. La proporción de hembras liberadas con las dos marcas fue cercana al 80%, excepto en 1995 y 1998, cuando fue del 13% y 97%, respectivamente. En la segunda y tercera recaptura de la temporada, la mayoría portaban marca metálica y sólo unos cuantas fueron remarcadas.

La probabilidad de pérdida de la marca metálica ( $1-\kappa_A$ ) dentro de cada año fue menor a 0.08 y la de retención ( $\kappa_A$ ), cercana a la unidad. En 1995 se marcaron muy pocos individuos con PIT tag, por lo que las probabilidades estimadas difirieron de las del resto de los años.

Uno de los propósitos de este análisis fue calcular un factor que permitiera corregir la doble identificación de una hembra dentro de una temporada por la pérdida de la marca. Ese valor (incluido en el renglón de Total de la tabla III.13) fue estimado con la sumatoria de las frecuencias de todas las temporadas, ya que con excepción de las de 1995, el resto no fue diferente ( $\chi^2_{0.05,5} = 8.37$ ,  $p = 0.136$ ).

**Tabla III.13.- Hembras recapturadas y probabilidades de pérdida de la marca metálica. Total de observaciones de cada temporada.**

Años	Hembras recapturadas con dos marcas			Probabilidad de pérdida por desprendimiento	
	PIT tag	Error			Errores
	( $t_{10}$ )	( $t_{11}$ )	( $t_1$ )	( $1 - \kappa_{A1}$ )	( $1 - P_1$ )
1992	303	17	8	0.054±0.024	0.025±0.017
1993	219	10	3	0.044±0.026	0.013±0.015
1994	223	5	1	0.022±0.019	0.004±0.008
1995	19	6	7	0.240±0.167	0.269±0.170
1996	242	19	18	0.073±0.031	0.069±0.030
1997	106	9	6	0.070±0.046	0.061±0.044
1998	340	18	46	0.050±0.022	0.119±0.032
Total	1433	77		0.050±0.011	

La probabilidad de reportar erróneamente una marca fue menor al 7% en cinco temporadas, sin embargo, en 1995 y 1998 ese porcentaje se incrementó sustancialmente (Tabla III.13). Esto se reflejó en las comparaciones, puesto que no hubo diferencias significativas entre 1992 y 1994 ( $\chi^2_{0.05,2} = 3.24$ ,  $p = 0.2$ ), ni entre 1996 y 1997 ( $\chi^2_{0.05,1} = 0.06$ ,  $p = 0.8$ ). Los problemas más comunes durante el registro de las marcas, fueron la confusión en alguno de los caracteres (e.g. T por J, O por D), los intervalos muy cortos entre puestas consecutivas y la transcripción de un número diferente de caracteres.

La probabilidad de pérdida por desprendimiento estimada para los individuos que fueron capturados tres veces dentro de una temporada se encontró entre 0 y 0.15, con excepción de 1995 y 1997, cuando el tamaño de la muestra fue pequeño (Tabla III.14). El análisis de  $\chi^2_n$  mostró que no hubo diferencias

significativas entre los 2 periodos, lo que fue un indicador de que la tasa de pérdida fue constante en esas temporadas; sin embargo, en tres años el tamaño de la muestra fue pequeño, lo que posiblemente afectó los resultados de los análisis (Zar, 1996). Por otra parte, las lecturas erróneas fueron escasas y proporcionales a las obtenidas con la muestra de la primera a la última observación.

**Tabla III.14. - Hembras recapturadas y probabilidades de pérdida estimadas para las hembras que anidaron tres veces. Se incluye la comparación entre de las temporadas.**

Intervalo entre la primera y segunda captura						
Año	Hembras recapturadas con			Pérdida de la marca por		1er Intervalo (días)
	Dos marcas (r <sub>10</sub> )	PIT tag (r <sub>10</sub> )	error (r <sub>0</sub> )	Desprendimiento (1 - κ <sub>0</sub> )	Errores (1-P <sub>1</sub> )	
1992	51	4	1	0.072±0.069	0.019±0.037	20.6
1993	27	1	0	0.035±0.069	0	24.4
1994	13	0	0	0	0	18.4
1995	2	1	0	0.33±0.533	0	24.7
1996	18	3	1	0.14±0.150	0.052±0.10	26.9
1997	4	3	1	0.42±0.367	0.2±0.35	21.2
1998	52	3	8	0.054±0.06	0.13±0.086	23.3

Intervalo entre la segunda y tercera captura								
Año	Hembras recuperadas con			Pérdida de la marca por		2° Intervalo (días)	Comparación	
	dos marcas (r <sub>10</sub> )	PIT tag (r <sub>10</sub> )	error (r <sub>0</sub> )	Desprendimiento (1 - κ <sub>0</sub> )	Errores (1-P <sub>1</sub> )		χ <sub>0.05,1</sub>	P
1992	48	4	0	0.072±0.072	0	23.3	0.007	0.93
1993	27	1	0	0.03±0.069	0	22.3	0	1
1994	16*	0	0	0	0	24.9		
1995	1	0	0	0	0	25.0	0.093	0.75
1996	17	0	2	0	.010±0.13	28.4	1.89	0.16
1997	6*	1	0	0.14±0.259	0	26.2	1.16	0.28
1998	41	2	22	0.04±0.063	0.34±0.11	23.7	0.014	0.90

\*Nota: se recuperó un mayor número de organismos con doble marca en la tercera recaptura de 1994 y 1997 porque algunas de las hembras fueron remarcadas cuando fueron avistadas por segunda vez.

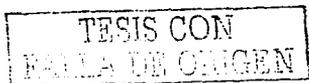
Las frecuencias del primer intervalo no mostraron diferencias significativas ( $\chi^2_{0.05,1}=2.42$   $p = 0.48$ ) entre las temporadas, con excepción de 1994, 1995 y 1997, mientras que todas las del segundo intervalo fueron similares ( $\chi^2_{0.05,6}=3.84$ ;  $p = 0.69$ ).

La proporción de hembras cuya identificación fue errónea y el porcentaje de hembras observadas no estuvieron correlacionadas, lo que permitió suponer que los errores fueron independientes de las variaciones en el esfuerzo invertido en la observación de las hembras.

#### *Evaluación de la eficiencia del marcado entre temporadas.*

A lo largo de nueve temporadas se dio seguimiento a tortugas marcadas en 1988, 1989 y 1992, de las cuales 110 llevaban grapa metálica y 70 PIT tag. La mayoría fueron observadas por una o dos temporadas más, aunque algunas de las portadoras de marca metálica fueron observadas hasta en cuatro temporadas.

La "pérdida" del PIT tag se encontró entre 0.2 y 0.6 y dependió de la capacidad operativa del campamento. Por la variabilidad de las probabilidades no fue posible calcular un promedio.



La probabilidad de pérdida de la marca metálica ( $1-\kappa_A$ ) fue elevada entre el año en que fueron marcadas y la temporada en la que fueron recapturadas por primera vez y no hubo diferencias entre 1988 y 1989 ( $\chi^2= 1.3$ , g.l.= 1;  $p= 0.25$ ), aunque sí con respecto a 1992, cuando fue ligeramente mayor. Fue posible recuperar dos temporadas más a las tortugas marcadas en ese último año y se encontró que la probabilidad de pérdida calculada con los datos de la segunda recaptura fue mayor que la estimada con la primera).

Por otra parte, la proporción de las hembras reemigrantes que fueron capturadas por primera vez en una temporada y que estuvieron marcadas con la grapa metálica puede ser un indicador de la retención de estos artefactos entre los años. Se partió del supuesto de que para un gran número de animales, cada uno de los años podía ser considerado como su primera temporada de recaptura (Fig. III.16).

Tabla III.15.- Probabilidades de pérdida y retención entre el año en el que fueron marcadas (en el encabezado) y en el que fueron recapturadas. No se menciona el número de años entre ambos eventos. Las hembras marcadas en 1992 fueron recuperadas en dos temporadas más (1\* y 2\*).

	Metálica				PIT tag			
	1988		1989		1988		1992	
	Recapturas				Recapturas			
	1*	1*	1*	2*	1*	1*	1*	2*
Hembras con dos marcas ( $r_A$ )	12	7	18	3	6	7	16	5
Hembras con una marca ( $r_A$ )	18	10	45	15	10	2	29	1
Probabilidad de retención ( $\kappa_A$ )	0.4	0.4	0.3	0.2	0.6	0.8	0.4	0.8
Probabilidad de pérdida ( $1-\kappa_A$ )	0.6	0.6	0.7	0.8	0.4	0.2	0.6	0.2

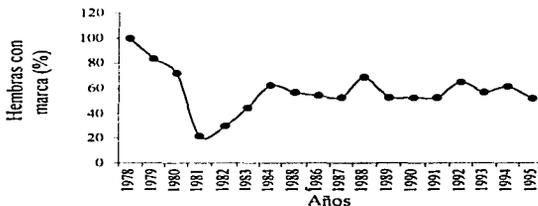


Fig. III.16.- Hembras reemigrantes (%) portadoras de marca metálica en la primera captura de cada año. Las variaciones entre 1978 y 1984 resultaron del esfuerzo aplicado en el Programa de Marcado.

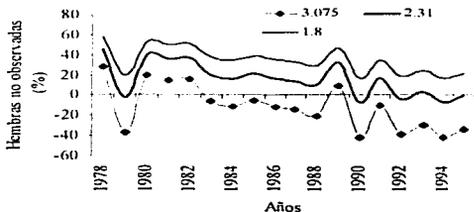
Entre 1984 y 1989 una proporción variable entre el 48 y el 35% de las hembras reemigrantes llegaron sin marca metálica (Fig. III.16). Estos porcentajes fueron menores a los calculados con los experimentos de doble marcado.

*Eficiencia de la observación y su efecto en el número de nidos detectados en cada temporada.*

Entre 1978 y 1995, el número de tortugas identificadas en Rancho Nuevo varió entre 255 y 684, cantidades que podrían ser 5% menores al considerar la probabilidad de marcar a un mismo individuo dos veces. Antes de 1990 la probabilidad de observar a una hembra, estimada a través de la proporción de hembras detectadas ( $N_d$ ) en relación con el total de nidos, osciló entre el 30 y 60%, mientras que en los años posteriores fluctuó alrededor del 70%. El resto de las observaciones correspondió a nidos que fueron detectados por las huellas de las hembras sobre la playa, también conocidos como "nidos solos".

La proporción  $N_d$  osciló alrededor del 30% en Barra del Tordo y del 40% en Tepehuajes, ya que hubo menos personal y la distancia patrullada fue mayor. Las variaciones de  $N_d$  influyeron en el número de datos disponibles para los análisis y fueron el motivo por el que se utilizaron las temporadas 1992-1996. La posibilidad de observar a los individuos fue un indicador de la capacidad operativa del campamento, por lo que en algunas temporadas disminuyó al aumentar la abundancia de las tortugas.

Sin embargo, es probable que un elevado porcentaje de las hembras haya sido observado, particularmente en la década de los 90's, como lo sugiere la tendencia de las hembras no detectadas. Esta variable fue obtenida a partir de la diferencia entre las hembras registradas y las que presumiblemente llegaron a la playa; éstas últimas fueron estimadas a partir de las frecuencias de anidación (FA) de Márquez (1994), Rostal (1991) y el Grupo de Expertos en Tortugas Marinas (TWEG, 1998). Las frecuencias de estos dos últimos autores fueron muy elevadas (Fig. III.17), por lo que es probable que la más verosímil sea la estimada por Márquez (1994).



Nidos/temporada	Autor
3.07	Rostal, 1991
2.31	TWEG, 1997
1.73	Márquez, 1994

Fig. III.17.- Variabilidad de las hembras que no fueron detectadas. Las frecuencias de anidación se incluyen en la tabla anexa.

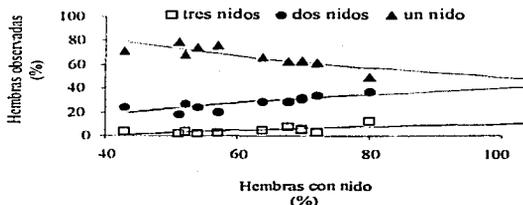
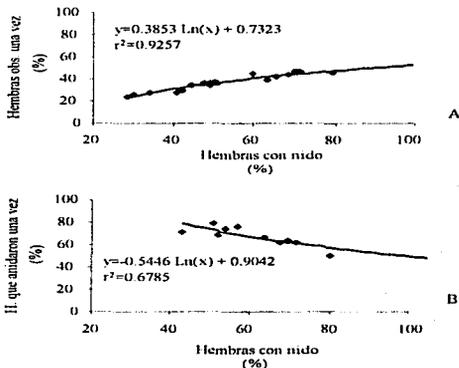
Por otro lado, aunque la frecuencia de anidación sea cercana a dos nidos por temporada, es probable que algunas hembras sólo desoven una vez. Para calcular esta cantidad, se hicieron regresiones logarítmicas entre la proporción de la población que fue observada anidando ( $I_n$ ) con las hembras observadas una vez (expresadas en porcentaje), independientemente de que hubieran desovado o no; y con las tortugas que anidaron una vez. De la primera regresión (Fig. III.18A), se infirió que aproximadamente el 45 % de la población podría ser visto una vez, mientras que de la segunda, que alrededor del 38% pondría un nido (Fig. III.18B). Estas estimaciones son gruesas puesto que,

como se describe en párrafos posteriores, hubo variaciones en la cantidad de hembras que fueron incapaces de desovar en alguno de sus ascensos a la playa.

De manera similar, la cantidad de hembras identificadas y el número de desoves que fue posible reconocer estuvieron significativamente correlacionados (Fig. III.19), y la tendencia de cada anidación sugiere que la FA tiende a ser más o menos constante dentro de la población.

Entre las hembras multiparas, las que pusieron dos nidos fueron más numerosas que las que anidaron tres veces en la mayoría de las temporadas. Estas últimas fueron particularmente escasas entre 1985 y 1987, así como en 1989 y 1991, por lo que esos años se descartaron de los análisis.

Fig. III.18.- Tendencia del porcentaje de la población observado una vez (A) y del que presumiblemente depositó 1 nido (B) en relación con la capacidad de observación del campamento.



Nidos	r
1	0.8
2	0.8
3	0.6

Fig. III.19.- Relación entre las hembras observadas y las que depositaron entre 1 y 3 nidos. Los coeficientes de correlación de las líneas de tendencia están en la tabla adjunta.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Comportamiento de las hembras que no pudieron anidar.

Las hembras que no pudieron anidar en alguno de sus ascensos a la playa representaron entre el 8 y el 38% de la población, aunque esos porcentajes fueron influidos por la capacidad operativa de los campamentos. Por otro lado, puesto que la correlación entre el número de tortugas con anidaciones fallidas y la probabilidad de observar a una hembra fue poco significativa ( $r = 0.1$ ;  $N=11$ ;  $p=0.76$ ), es posible suponer que las anidaciones fracasadas no estuvieron relacionadas con la actividad de los observadores.

Las hembras que por alguna razón fueron incapaces de ovipositar en alguna de sus ascensos a la playa, retornaron una y otra vez hasta que anidaron exitosamente. Usualmente lo reintentaron el mismo día y muy cerca de la primera ubicación, ya que la distancia recorrida entre una anidación fallida y una exitosa fue menor a 1 km (prom= $0.55 \pm 2.99$  km) y la forma de la distribución de frecuencias fue normal, aún cuando las hembras realizaron más de un intento (Fig. III. 20).

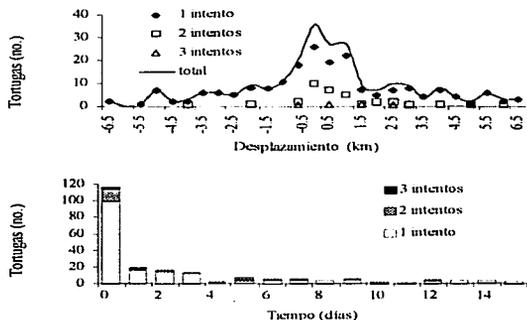


Fig. III.20.- Desplazamiento (km) e intervalo (días) entre un intento y una puesta exitosa en las temporadas comprendidas entre 1992 y 1996.  $N=280$  tortugas.

El desplazamiento promedio entre varió entre 0.3 y 1.4 km en las cinco temporadas analizadas y la dirección dominante fue hacia el Norte (Tabla III.16), con la excepción de 1995 cuando fue hacia al Sur, como ocurrió en ese año con algunas de las arribaciones. No obstante, a pesar de esas pequeñas variaciones no hubo diferencias significativas entre los años.

Entre 1993 y 1995 la proporción de las hembras que regresaron en el transcurso del mismo día a desovar fue de aproximadamente el 40%. En 1992 y 1996 los porcentajes fueron muy diferentes y aparentemente no estuvieron relacionados con la proporción de hembras observadas. El resto de los organismos retornó a la playa dentro de los primeros cinco días. Los intervalos mayores presumiblemente correspondieron a la puesta de otro nido.

Tabla III.16.- Desplazamiento de las hembras que fallaron en algún desove. El signo indica la dirección en que anidaron después del intento. También se presenta la proporción de individuos que regresaron el mismo día (retornos).

Año	Desplazamiento promedio (km)	Desviación estándar.	N	Retornos (%)	N
1992	1.40	6.04	48	68	48
1993	0.30	5.73	35	37	35
1994	0.57	5.76	57	45	56
1995	-1.23	7.45	102	40	105
1996	0.91	12.19	38	15	39

*Distribución de las hembras dentro de las temporadas.*

Los nidos detectados por los rastros (nidos solos) y las hembras que pusieron un nido ( $H_{1N}$ ) fueron más abundantes en las semanas quinta, sexta, octava, undécima y decimotercera (Fig. III.21). Por otra parte, la distribución temporal de los individuos, considerando el orden en el que fueron depositados los nidos de cada hembra, estuvo correlacionada significativamente ( $r > 0.7$ ,  $p < 0.05$ ) en algunos periodos, así por ejemplo, entre la primera y la quinta semanas fue similar la forma de la curva del primer nido de las hembras que pusieron una, dos y tres veces (Fig. III.21B y C). Esto permite suponer que la sucesión en el tiempo de las hembras que desovarón dos y tres veces, puede ser un indicador de los periodos en los que es mayor la probabilidad de que los nidos correspondan a anidaciones consecutivas y del intervalo en el que la mayoría de las hembras llegan a la playa

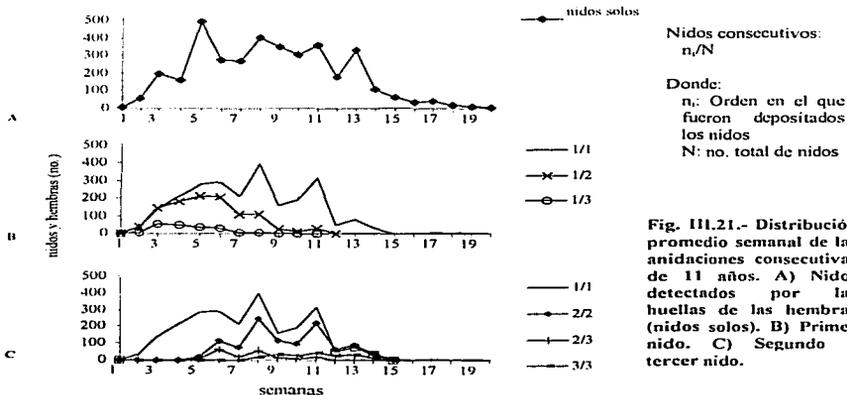
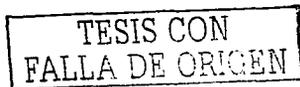


Fig. III.21.- Distribución promedio semanal de las anidaciones consecutivas de 11 años. A) Nidos detectados por las huellas de las hembras (nidos solos). B) Primer nido. C) Segundo y tercer nido.



Las hembras que anidaron dos veces ( $H_{2N}$ ) depositaron el primer nido en las primeras nueve semanas (Fig. III.21C), aunque desde la sexta, se inició la segunda puesta. El segundo nido fue más abundante en la octava y undécima semanas.

Las gráficas de las hembras que pusieron tres veces ( $H_{3N}$ ), mostraron que del primer nido se depositó con mayor frecuencia en la tercera semana. El segundo nido se depositó entre la sexta y la duodécima semanas, y fue más abundante en los mismos intervalos en los que las  $H_{2N}$  pusieron el segundo nido. La gráfica del tercer nido presentó menos variaciones y mostró dos picos muy pequeños en las semanas undécima y décimo tercera.

Las curvas de distribución de las  $H_{2N}$  y  $H_{3N}$  fueron más suaves que la de los nidos solos, que presentó incrementos significativos en las semanas tres y cinco, probablemente como resultado de la problemática inherente a la observación de las tortugas. Algo similar ocurrió en la semana 13, cuando las hembras detectadas fue escasas, en comparación con los nidos solos, lo cual reflejó la disminución en el esfuerzo invertido en la observación.

A partir de esta figura se describió el orden hipotético en el que fueron depositados los nidos: el primero fue más abundante entre las semanas 1 y 5, el segundo entre la 6 y la 9 y el tercero entre la 10 y 13. Esto permite suponer que una elevada proporción de las hembras llega dentro de las primeras semanas, aunque la información disponible no permite acotar con mayor precisión la llegada y salida de las hembras de la playa de anidación.

En la figura III.22 se muestra la distribución de tres años en los que la secuencia fue similar a la descrita, a pesar de las particularidades de cada una, tales como las diferencias en las semanas en las que inicio y terminó cada temporada.

Una manera de contrastar las características de las temporadas fue a partir de la cuantificación de los días transcurridos entre las anidaciones consecutivas. Los datos de Rancho Nuevo se utilizaron para la descripción de los intervalos (en días) entre dos puestas, los que variaron entre 10 y 70 días con un promedio ( $\pm$ desviación estándar) de  $29.3 \pm 11.85$ .

Los periodos que se encontraron en el extremo derecho de los polígonos de frecuencias (e.g. 70 días), posiblemente fueron de organismos con desoves no registrados o con largos periodos de recuperación entre anidaciones (Márquez, com. pers.). Los lapsos menores a 5 días se calificaron como errores en la identificación de la marca.

En el 40% de los años analizados la distribución de frecuencias sólo presentó una moda, mientras que en el 50%, dos y en el 10%, tres modas. Los intervalos más frecuentes se encontraron entre 25 y 35 días. La segunda y tercera moda fueron mayores a 30 días, y con excepción de los tres años resaltados con negritas en la Tabla III.17, en los que posiblemente se presentaron dos intervalos, la mayoría podrían indicar un desove intermedio no registrado.

Esta idea fue apoyada por la magnitud de las desviaciones estándar, la obtenida del ajuste de la primera moda (o primer intervalo) a la curva normal fue menor que la de la segunda moda, en la mayoría de las temporadas, lo que permite suponer que el primer intervalo fue más aproximado al real. Por otra parte, de acuerdo con los análisis de Kruskal - Wallis y de Newman-Keuls, no hubo diferencias significativas entre los intervalos, con excepción de 1981, 1991, 1992 y 1994, cuya mediana fue menor a 22 días, y 1987, cuya mediana fue de 37 días.

**Tabla III.17.- Periodos entre dos anidaciones. En los años destacados en negritas posiblemente hubo dos intervalos.**

Año	Intervalo promedio	Desviación estándar	N	Año	Intervalo promedio	Desviación estándar	N	Año	Intervalo promedio	Desviación estándar	N
1978	25.65	8.56	7	1984	28.84	7.43	46	1990	31.69	3.39	112
	38.33	3.46	8								
	52.95	0.72	9								
1979	28.41	7.24	54	1985	27.44	0.75	39	1991	25.73	2.93	59
					37.37	4.30	34				
1980	29.79	7.54	22	1986	31.50	6.41	42	1992	22.95	0.81	113
	57.84	0.69	16						32.66	5.27	64
1981	26.24	1.68	18	1987	34.56	3.42	27	1993	27.67	4.31	104
	42.97	1.04	6		39.80	11.54	44				
1982	32.73	4.88	21	1988	30.35	7.85	85	1994	22.20	0.43	74
	52.66	6.62	13						33.93	6.79	89
									51.90	4.84	21
1983	35.70	13.26	49	1989	30.43	4.72	48	1995	27.60	4.06	114
					47.50	0.62	14		47.56	0.88	68

Los resultados de las correlaciones de la fecha con el intervalo entre dos anidaciones, mostraron una gran variabilidad entre las temporadas. En 1992, 1993 y 1995 los coeficientes fueron negativos, ya que los intervalos de las hembras que anidaron por primera vez en abril fueron mayores que los de las que desovaron en mayo; estas diferencias fueron significativas según el análisis de Kruskal - Wallis al 95% de confianza. En contraste, en 1994 los intervalos más cortos se presentaron en las hembras que ovipositaron en abril, mientras que en 1996, no fueron significativamente distintos.

Las condiciones fisiológicas y el momento en el que los organismos iniciaron el desove, debe haber influido en la longitud del intervalo. Es probable que algunas tortugas observadas por primera vez a finales de mayo hayan desovado previamente, por lo que el lapso registrado correspondería al transcurrido entre el segundo y tercer nido y es razonable suponer que sería ligeramente mayor al primero, para permitir la recuperación de la hembra. También es plausible que el ambiente contribuya a regular el intervalo entre anidaciones.

Es posible que las estimaciones hayan sido afectadas por el tamaño de la muestra. Cabe mencionar que aunque el número de datos fue inferior al centenar recomendado por Alvarado y Murphy (1999), la mayoría fue superior a 30, tamaño mínimo para la estimación de la media y la varianza (Daniel, 1977).

La descripción de los periodos entre tres anidaciones consecutivas se basó en los registros de los tres campamentos para incrementar el tamaño de la muestra. Los intervalos promedio entre los nidos 1-2 y 2-3, se encontraron entre 20 y 30 días. En 1993 y 1996, las distribuciones de frecuencia de los dos intervalos fueron unimodales, mientras que en los tres años restantes se presentó un pequeño pico adicional que sugiere que fueron bimodales, sin embargo, por el tamaño de la muestra sólo fue posible obtener los valores modales de 1992 (Tabla III.18 )

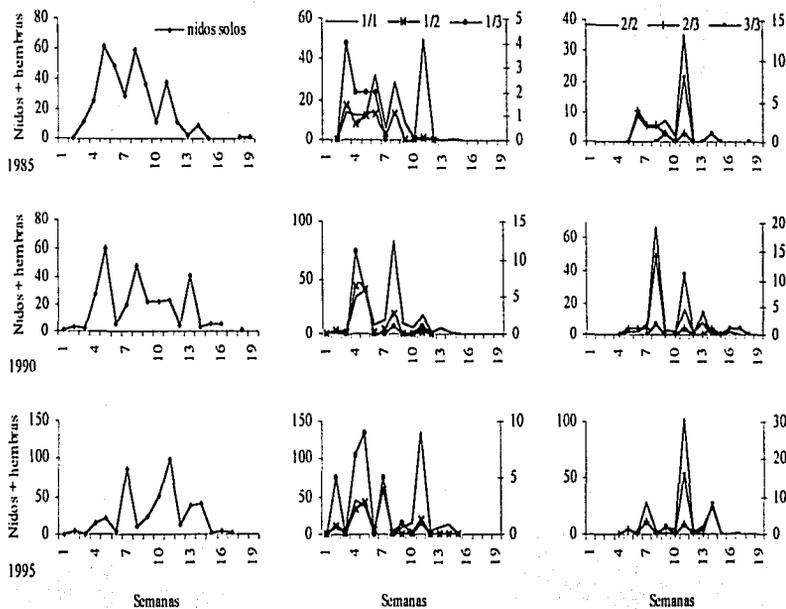


Fig. III.22.- Distribución temporal de las anidaciones consecutivas. El numerador de los cocientes indica el orden en el que fueron depositados y el denominador el número total de nidos. Las claves son iguales a las de la figura III.21. En el eje de las ordenadas secundario se muestra el tercer nido.

Tabla III.18.- Intervalos diarios entre tres anidaciones, estimados con los datos de los tres campamentos. Sólo en 1992 se incluyen las dos nodas, en 1994 y 1995 el tamaño de la muestra fue insuficiente para separarlas.

Año	Intervalo entre los nidos 1 y 2		Intervalo entre los nidos 2 y 3		N
	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar	
1992	22.7	4.92	22.5	5.17	54
	30.8	5.28	33.95	8.59	
1993	24.4	5.18	22.34	7.28	34
1994	18.42	6.31	24.92	9.72	26
1995	24.78	7.56	25.02	7.01	35
1996	26.95	8.65	28.45	9.68	24

Las distribuciones de frecuencia de los intervalos muestran "picos" que coinciden con los desoves subsiguientes, lo que evidencia las anidaciones no observadas, como se aprecia en la gráfica del primer intervalo de 1995, cuyo incremento a los 50 días (Fig. III.23) coincidió con el tercer desove.

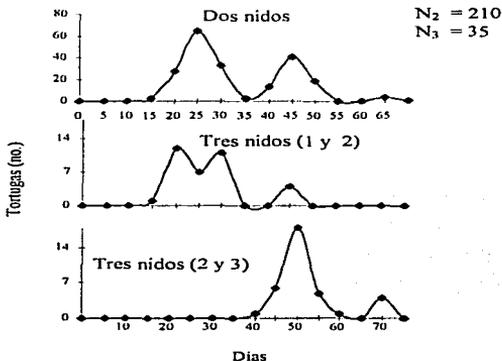


Fig. III.23.- Distribución de frecuencias de las anidaciones consecutivas de 1995.

Los resultados obtenidos de la prueba de Wilcoxon, aplicada para comparar el lapso entre la primera y segunda anidación, permitieron detectar diferencias significativas. En 1992 y 1994 el primer intervalo fue menos variable y ligeramente más corto que el transcurrido entre el segundo y tercer nido (Tabla III.19), mientras que en 1995 y 1996 no fueron significativamente distintos. Por otra parte, el tamaño de la muestra no permitió determinar la existencia de alguna relación entre la fecha del desove y la duración de los intervalos.

**Tabla III.19.- Resultados de la aplicación de la prueba de Wilcoxon, para muestras apareadas, a los intervalos transcurridos entre las tres anidaciones.**

Año	N	T	Z	p
1992	40	350	0.09	0.95
	80	778	3.28	0.001
1993	35	189.5	2.05	0.039
1994	25	66	2.59	0.009
1995	35	308	0.11	0.90
1996	24	135.5	0.41	0.67

Al comparar los resultados obtenidos con los organismos que anidaron 2 y 3 veces, se aprecia que en 1985, 1992 y 1994, aparentemente hubo dos intervalos. En 1995, esas dos modas fueron menos evidentes.

#### *Distribución espacial de las anidaciones.*

La distribución de las anidaciones consecutivas fue similar a la general, que incluyó a los nidos "solos" y a las hembras que anidaron una vez. Existieron pequeñas variaciones entre los años, tanto en el sitio en el que la anidación fue más abundante, como en la extensión cubierta por las hembras.

Para detectar la correlación entre las ubicaciones (estacas) de las hembras que desovaron más de una vez en cada temporada, se empleó el coeficiente de correlación de Spearman (*rho*), sobre el supuesto de que hubo independencia en la selección de los lugares en los que fueron depositados los nidos. Los coeficientes obtenidos entre las hembras que pusieron dos nidos fueron significativos y variaron entre 0.39 y 0.57, con excepción de 1992, cuando el coeficiente *rho* fue muy cercano a 1 (Tabla III.20).

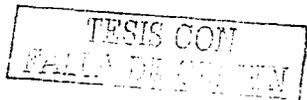
**Tabla III.20.- Coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre las ubicaciones de las tortugas que depositaron dos nidos en una temporada. Los coeficientes fueron significativos al 95% de confianza ( $p < 0.01$ ).**

Parámetros de la regresión	1992	1993	1994	1995	1996
R	0.99	0.45	0.56	0.39	0.57
t (N-2)	5.98	5.92	9.7	6.28	10.1
N	174	135	199	216	215

Esas diferencias fueron analizadas utilizando como indicador la distancia o "desplazamiento" entre la ubicación de los nidos consecutivos. Se consideraron dos tipos de distancias: la absoluta y la neta (ver sección de métodos).

En el primer caso, por el tipo de distribución de los datos (Fig. III.24A), se empleó la mediana como parámetro de tendencia central y al recorrido entre los percentiles de 25 y 75% como medida de dispersión. El desplazamiento absoluto sólo fue significativamente diferente en 1992 ( $H(4, N=933) = 124.2, p < 0.01$ ). En los años restantes las medianas fueron similares, por lo que su promedio fue de 5.1 km (Tabla III.21), aunque la distancia varió entre poco más de 1 km y casi 12 km.

La forma de la distribución de frecuencias del desplazamiento neto (Fig. III.24B) permitió emplear a la media y a la desviación estándar. El desplazamiento neto fue menor que el absoluto y los métodos estadísticos permitieron distinguir a las temporadas 1992 y 1996 del intervalo 1993-1995, puesto que en las dos primeras dominó el desplazamiento hacia el Norte, y en el resto hacia



el Sur (Tabla III.21). El desplazamiento promedio entre los nidos de una hembra fue de 5 km, pero el de todo el conjunto de tortugas varió entre -1.3 y 2.4 km.

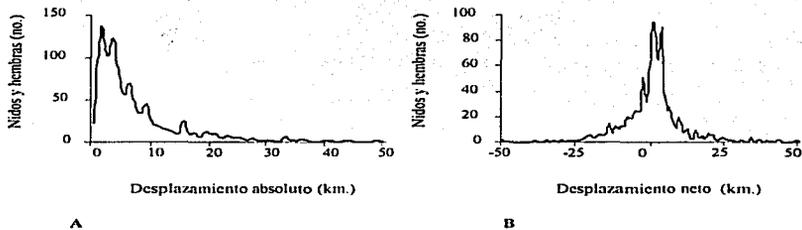


Fig. III.24.- Desplazamiento neto y absoluto de las hembras que depositaron dos nidos. Se incluyen todos los datos obtenidos entre 1992 y 1996. El origen corresponde a la posición del primer nido.

Tabla III.21.- Desplazamiento de las hembras que anidan dos veces. Se incluyó a la mediana en el neto para tener un parámetro de comparación con el absoluto.

Año	Absoluto				Neto				
	Mediana	25%	75%	Recorrido entre cuartiles	N	Mediana	Medi	Desviación Estándar	N
1992	2.1	1.2	2.95	1.75	174	1.8	1.57	8.53	174
1993	4.8	1.5	10.2	8.7	135	-0.6	-2.02	11.90	135
1994	5.7	3.15	8.40	5.25	201	-0.9	-1.35	8.65	201
1995	5.4	2.4	11.15	8.75	210	-1.8	-1.69	11.43	210
1996	4.8	1.75	11.6	9.85	215	0.9	2.42	12.30	215

En los párrafos anteriores se comparó la ubicación de los nidos sin considerar la del primer nido, lo cual se hizo con una correlación entre esa variable (posición inicial) y el desplazamiento neto. Los coeficientes *rho* obtenidos fueron significativos y negativos (Tabla III.22) porque los datos se congregaron en los cuadrantes superior izquierdo e inferior derecho de los dispersogramas, lo que muestra que las hembras tendieron a aproximarse al área en donde la anidación fue más abundante.

Tabla III.22.- Coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre la posición inicial ("estaca") y el desplazamiento.

Año	N	Neto			Absoluto		
		r	T(N-2)	p	r	T(N-2)	p
1992	170	-0.55	-8.63	4.3E-15	-0.29	-3.94	0.0001
1993	127	-0.55	-7.38	1.9E-11	0.28	3.38	0.0009
1994	184	-0.49	-7.71	7.61-13	0.15	2.07	0.039
1995	200	-0.61	-11.07	1.64-22	0.21	3.03	0.002
1996	184	-0.46	-6.98	5.05-11	-0.04	0.65	0.51

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

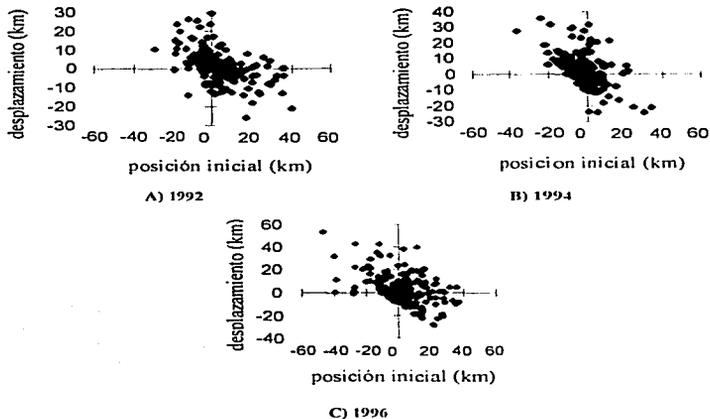


Fig. III.25.- Desplazamiento neto de las hembras a partir de la posición inicial. El cero indica la ubicación del campamento de Rancho Nuevo.

En las figuras III.25 A, B y C, se aprecia que las hembras que depositaron el primer nido en las inmediaciones de Rancho Nuevo (kilómetro cero) se desplazaron menos que las que anidaron por primera vez lejos de esa zona. Esa figura también muestra que en 1994 la anidación estuvo más concentrada en Rancho Nuevo que los otros dos años; mientras que en 1996, algunas hembras que anidaron al Norte del campamento pusieron el segundo nido, aún más al Norte, lo cual contribuyó a explicar el valor del coeficiente de correlación de Spearman en esas dos temporadas, que fue ligeramente menor que en el resto.

Por el contrario, con excepción de 1992 y 1996, la correlación entre el desplazamiento absoluto y la ubicación inicial fue positiva, lo cual implica que la distancia entre los nidos fue mayor, cuando el primero de ellos estuvo más al Norte. En este caso los coeficientes fueron menores que los reportados con el desplazamiento neto.

Las correlaciones elaboradas entre las fechas en las que las hembras fueron observadas anidando por primera vez y el desplazamiento neto sólo fueron significativas en 1994 y 1996 (Tabla III 23), y sugieren que la distancia entre nidos disminuyó ligeramente al avanzar la temporada. La interpretación de los resultados obtenidos con el desplazamiento absoluto fue similar, aunque en este caso, los coeficientes fueron significativos en 4 años.

TESTES CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla III.23.- Coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre la fecha en la que fueron avistadas por primera vez y la distancia entre los nidos (desplazamiento).

Año	N	Neto			Absoluto		
		r	T(N-2)	p	r	T(N-2)	p
1992	170	-0.12	-1.61	0.10	-0.05	-0.69	0.48
1993	127	0.08	0.87	0.38	-0.28	-3.36	0.001
1994	184	-0.25	-3.54	0.0004	-0.15	-2.05	0.04
1995	200	-0.10	-1.55	0.12	-0.19	-2.77	0.006
1996	184	-0.16	-2.20	0.02	-0.43	-6.44	<0.001

Las ubicaciones de los nidos de las hembras que desovaron tres veces permitieron analizar con mayor detalle la dispersión de las tortugas dentro de las temporadas. Los valores de los coeficientes de correlación de Spearman fueron diferentes a los obtenidos con las hembras que anidaron dos veces, porque que los más elevados se obtuvieron en 1996 (Tabla III.24). Por otro lado, los coeficientes de correlación fueron menores entre la primera y la tercera ubicación que entre las anidaciones consecutivas. Esto permite suponer que la posición de los nidos sobre la playa se fue modificando conforme las hembras desovaron un mayor número de veces.

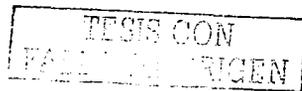
En 1992, 1993 y 1995, los coeficientes  $\rho$  fueron significativos, pero relativamente bajos (0.23 a 0.64). En contraste 1994 y 1996 presentaron condiciones diferentes, puesto que en el primero sólo la estaca 1 y 2 estuvieron correlacionadas, mientras que en 1996 el coeficiente fue cercano a 1 en los tres análisis realizados.

Tabla III.24.- Coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre las ubicaciones de las tortugas que depositaron 3 nidos en una temporada. Con excepción de los datos en negritas, los coeficientes fueron significativos al 95% de confianza ( $p < 0.01$ ).

Anidaciones contrastadas	1992	1993	1994	1995	1996
r (1 y 2)	0.46	0.57	0.88	0.36	0.99
t (N-2)	3.78	4.02	9.18	2.23	158.9
N	55	35	26	35	24
r (1 y 3)	0.44	0.55	0.15	0.23	0.99
t (N-2)	3.6	3.84	0.77	1.36	158.9
N	55	35	26	35	24
r (2 y 3)	0.64	0.67	0.23	0.49	0.99
t (N-2)	6.17	5.27	1.16	3.25	158.9
N	55	35	26	35	24

Al comparar las correlaciones entre las ubicaciones de las hembras que desovaron dos y tres veces se encontraron amplias variaciones dentro de los años. En algunas ocasiones no hubo coincidencia en los coeficientes de correlación ( $\rho$ ) de las hembras que pusieron dos y tres nidos dentro de una misma temporada.

En 1992 se obtuvo el coeficiente más alto entre las hembras que pusieron dos nidos, mientras que en 1996 entre las hembras con tres nidos. En el primer caso, los registros indicaron una elevada coincidencia entre la primera y segunda ubicación que, sin embargo, se redujo significativamente entre las hembras que depositaron tres nidos. Encontrar una explicación a estas diferencias es difícil, puesto que es poco probable que se encuentren dos conjuntos de hembras con comportamientos tan disímiles dentro de una temporada y esto permite suponer que los datos correspondientes a los dos nidos fueron manipulados en algún momento. En el otro extremo, en



1996, cuando el valor de los coeficientes fue contrario a lo descrito para 1992, es posible que lo reducido de la muestra haya influido en las diferencias entre los coeficientes *r*ho.

Entre 1993 y 1995 los coeficientes de correlación de ambos grupos tendieron a coincidir, aunque como era de esperarse, fueron ligeramente menores entre los datos de las hembras que depositaron dos nidos. Entre las que anidaron tres veces, se encontró que la correlación entre la ubicación de las anidaciones consecutivas fue mayor, aunque en algunas temporadas fue más alta entre la primera y segunda anidación, mientras que en otras, entre la segunda y tercera. No fue posible distinguir los factores que determinaron estas variaciones, aunque podrían influir las diferencias en la composición de los individuos y en el ambiente.

La forma de las distribuciones de frecuencia de los desplazamientos de las hembras que anidaron tres veces fue similar a las que pusieron dos nidos (ver Fig. III.26 y III.24). El desplazamiento neto, de manera similar a lo reportado para las hembras que anidaron dos veces, fue menor que el absoluto, excepto en 1996 cuando las medianas de la distancia entre los nidos 1 y 2 fueron casi iguales. Por otra parte, sólo existieron diferencias significativas en 1996 (Tabla III.25).

Tabla III.25.- Características de los movimientos de las hembras que desovaron 3 veces.

Desplazamiento absoluto									
Año	Entre nidos 1 y 2				Entre nidos 2 y 3				N
	Mediana	25%	75%	Rango entre Cuartiles	Mediana	25%	75%	Rango entre Cuartiles	
1992	3.6	1.55	6.5	4.95	3	1.20	6.3	5.1	55
1993	3.9	1.80	6.9	5.1	2.7	1.20	4.8	3.6	35
1994	3.45	2.4	4.2	1.8	9.75	3.15	12.7	9.5	26
1995	6.9	2.8	13.2	10.4	5.4	1.55	9.7	8.1	35
1996	4.35	2.7	6.2	3.5	1.2	0.3	1.5	1.2	24

Desplazamiento neto									
Año	Entre nidos 1 y 2			Entre nidos 2 y 3			N		
	Mediana	Media	Desviación Estándar	Mediana	Media	Desviación Estándar			
1992	2.1	1.11	9.43	0	-0.54	7.88	55		
1993	-2.2	-1.93	9.33	-0.9	-0.32	4.53	35		
1994	-3.3	-1.93	8.75	-0.15	-0.91	11.77	26		
1995	-1.8	1.04	9.99	-1.5	-4.54	8.07	35		
1996	4.2	4.23	9.08	-0.6	-0.36	5.58	24		

Entre los nido 1 y 2 el sentido del movimiento fue similar al descrito para las hembras que pusieron dos nidos, positivo en 1992 y 1996, y negativo entre 1993 y 1995 (Tabla III.21 y Tabla III.25). En contraste, entre los nidos 2 y 3 la dispersión de las distancias fue menor y la dirección predominante fue hacia el Sur, particularmente en 1995.

Los dispersogramas elaborados entre la ubicación de los nidos y el desplazamiento neto de las hembras que anidaron dos veces, mostraron que las hembras se movían hacia la zona en la que la anidación era más abundante. En contraste, los gráficos de las tortugas que anidaron tres veces presentaron mayores variaciones (Figura III.27); mientras que en 1992 las hembras estuvieron concentradas alrededor de Rancho Nuevo y sólo unas cuantas se separaron de esa zona, en 1994 y 1996 estuvieron más dispersas e incluso algunas se alejaron del área central, como se observa en el cuadrante superior derecho de la primera gráfica de 1996 que representa el desplazamiento entre los nidos 1 y 2 con respecto a la ubicación del primer nido. Por otra parte, la prueba de Wilcoxon

mostró que no hubo diferencias significativas entre el desplazamiento absoluto entre cada par de nidos comparados, excepto en 1994 y 1995 (Tabla III.26).

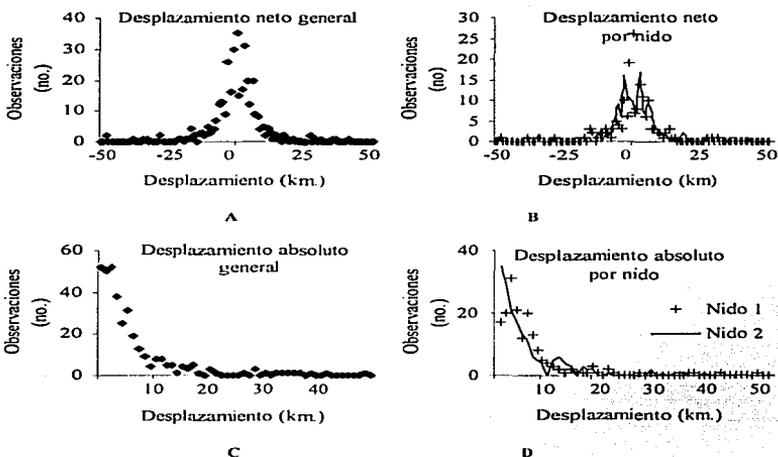


Fig. III.26.- Desplazamiento de las hembras que anidaron tres veces. A y B) Desplazamiento neto general y por nido. C y D) Desplazamiento absoluto general y por nido. El 1 indica la distancia entre los dos primeros nidos y el 2, entre el segundo y tercer nido.

Tabla III.26.- Resultados de la prueba de Wilcoxon para variables emparejadas, aplicada a los desplazamientos de las hembras que fueron vistas tres veces en una temporada.

	Desplazamiento absoluto			Desplazamiento neto			
	T	z	p	T	z	N	
1992	548.5	0.85	0.39	545.5	1.69	0.08	55
1993	203.5	1.6	0.10	218.3	1.35	0.17	35
1994	45.5	3.14	0.0016	166	0.24	0.8	26
1995	245	0.89	0.369	254	0.74	0.45	35
1996	17.5	3.78	0.0001	16.5	3.81	0.0001	24

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

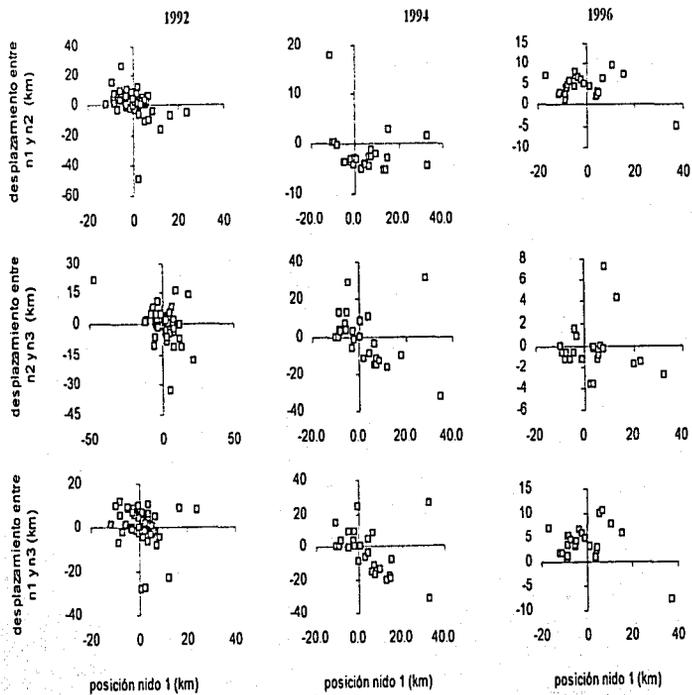


Fig. III.27.- Correlación entre el desplazamiento neto entre las anidaciones consecutivas y la ubicación de los nidos. n1= nido1; n2=nido2.

En el intervalo 1992-1996 los coeficientes de correlación entre el desplazamiento neto y la posición inicial de ambos intervalos fueron negativos y significativos, acordes con los resultados de los análisis de las hembras que anidaron dos veces. Sin embargo, a diferencia de éstas últimas, los coeficientes obtenidos en el primer intervalo de 1996 y en el segundo de 1993 no fueron significativos. En el primer caso, una elevada proporción de las hembras anidó al Norte, mientras que en 1993 la dispersión de los datos fue mayor y predominó la anidación hacia el Sur.

Los coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre el desplazamiento absoluto y la posición inicial no fueron significativos en la mayoría de los años (Tabla III.27), con la excepción del obtenido entre la posición del segundo desove de 1995 y la distancia entre los nidos 2 y 3, cuando aparentemente hubo un ligero incremento en la anidación hacia el Norte.

**Tabla III.27.- Coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre la posición inicial y el desplazamiento de las hembras que anidaron tres veces.**

Entre nido 1 y 2								
Año	N	Neto			Absoluto			
		r	T(N-2)	p	r	T(N-2)	P	
1992	73	-0.43	-4.03	0.0001	-0.01	-0.09	0.92	
1993	35	-0.47	-3.08	0.004	0.02	0.11	0.90	
1994	24	-0.60	-3.51	0.001	0.08	0.39	0.69	
1995	35	-0.48	-3.16	0.003	0.23	1.36	0.18	
1996	23	-0.34	-1.68	0.106	0.02	0.11	0.91	

Entre nido 2 y 3								
Año	N	Neto			Absoluto			
		r	T(N-2)	p	r	T(N-2)	P	
1992	73	-0.41	-3.73	0.0003	0.20	1.73	0.08	
1993	35	-0.27	-1.63	0.11	0.08	0.47	0.63	
1994	24	-0.49	-2.68	0.013	0.19	0.91	0.37	
1995	35	-0.66	-5.10	<0.001	0.51	3.43	0.001	
1996	23	-0.48	-2.55	0.018	0.20	0.98	0.33	

Los análisis de Kruskal - Wallis elaborados entre ambos tipos de desplazamiento y la fecha de la anidación, no arrojaron resultados significativos, aunque aparentemente hubo una tendencia ligeramente decreciente. No obstante, el principal problema de este análisis fue la disparidad en el tamaño de la muestra. Por otra parte, también se elaboraron análisis de correlación entre los desplazamientos y el intervalo entre las anidaciones con el propósito de determinar si la distancia entre los nidos estuvo relacionada con el tiempo transcurrido entre los desoves, no obstante, los resultados no fueron significativos.

#### *Desplazamiento entre playas.*

La proporción de hembras que se movió desde los campamentos periféricos hacia Rancho Nuevo dentro de las temporadas, fue mayor en el caso de las observadas en Barra del Tordo (Tabla III.28), y puesto que la proporción de hembras observadas (ni) en esa zona fue más o menos constante en el periodo analizado, es probable que esa proporción sea más representativa que la registrada entre Tepehuajes y Rancho Nuevo.

Tabla III.28.- Desplazamiento entre Barra del Tordo, Tepehuajes y Rancho Nuevo. Proporción de las hembras que se desplazaron hacia y desde Rancho Nuevo dentro de una temporada.

Año	H. desplazadas desde (%)		H. desplazadas hacia (%)	
	BT	Tepe	BT	Tepe
1992	35	10	0.5	2.2
1993	18	32	0.2	0.8
1994	38	10	0.1	2.8
1995	15	20	0.4	1.2
1996	26	17	0	4.5

La proporción de hembras desplazadas desde Barra del Tordo presentó fluctuaciones bianuales que no fueron evidentes en Tepehuajes, en donde la heterogeneidad del porcentaje de hembras observadas fue mayor. Por otro lado, posiblemente exista una tendencia inversa entre los dos campamentos periféricos ( $r = 0.85$ ,  $p = 0.068$ ,  $N = 5$ ) que no fue significativa por la escasez de información disponible.

#### *Distribución entre temporadas*

Los registros del Programa de Marcado permiten asumir que los ciclos de anidación fueron bianuales. Los resultados obtenidos de la aplicación de marcas de monel y titanio muestran que la proporción de marcas recobradas en el año 2 fue menor que la del año 3 (Figs III. 28 y 29). Es probable que las hembras recuperadas en ese último año hayan sido subestimadas, porque la pérdida entre el año uno y tres fue mayor que entre el uno y dos, según los resultados del marcado. La tendencia fue semejante, a pesar de que las marcas se utilizaron en diferentes periodos y de que aparentemente la pérdida de grapas de titanio fue ligeramente menor que las de monel

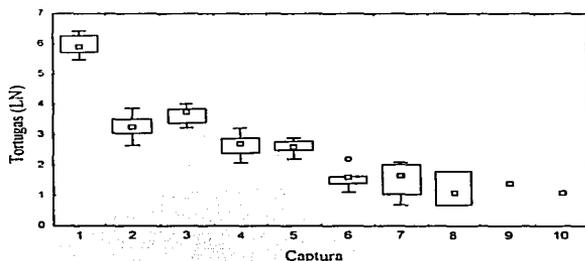


Fig. III.28.- Recaptura de marcas de monel. Estas marcas fueron colocadas y recapturadas entre 1988 y 1997. En la captura 1 se marcaron las tortugas.

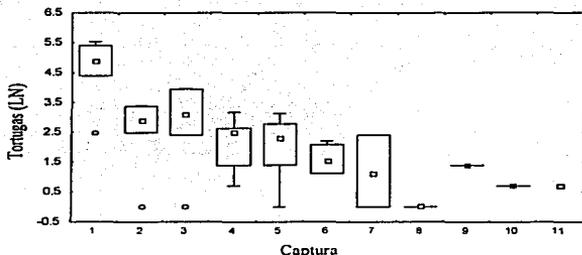


Fig. III.29.- Recaptura de marcas de titanio. Marcas colocadas y recapturadas entre 1983 y 1995. Los datos no fueron corregidos por la probabilidad de pérdida de la marca.

La evaluación de la variabilidad de la distribución de las hembras sobre la playa entre las temporadas, mostró que hubo diferencias significativas entre las ubicaciones (H (9, N= 720)= 21.701,  $p= 0.009$ ;  $\chi^2= 16.81$ , g.l.= 9,  $p= 0.051$ ). Sin embargo, los resultados de este análisis fueron obtenidos a partir de muestras relativamente pequeñas.

Por otro lado, a pesar de que dentro de la misma temporada entre el 10 y poco más del 30% de las hembras registradas en los campamentos periféricos también fueron observadas en Rancho Nuevo, sólo 3 de las tortugas registradas en Barra del Tordo y 11 de las de Tepehuajes fueron detectadas en una temporada posterior en Rancho Nuevo (Tabla III.29). Allí se destaca que las hembras observadas por primera vez en Tepehuajes regresaron con mayor frecuencia a Rancho Nuevo después de dos años, mientras que las de Barra del Tordo después de un año.

Tabla III.29.- Porcentaje de las hembras registradas en Barra del Tordo o Tepehuajes que fueron observadas en alguna temporada consecutiva en Rancho Nuevo.

Intervalo entre avistamientos (años)	Tepehuajes	Barra del Tordo
1	0.75	1.5
2	1.12	
3	0.18	

## DISCUSIÓN

En este apartado se discuten tres aspectos, el primero es referente a las características de los datos y su efecto en la validez de los métodos estadísticos. En el segundo se analizan algunas de las particularidades de la población que podrían haber influido en la distribución y en el tercero, los patrones de conducta que, por su constancia, sugieren que son determinados genéticamente. En este último caso, se utilizaron una amplia variedad de escalas en el espacio y el tiempo, puesto que cada una de ellas permite abordar diferentes aspectos de la distribución de los organismos.

### *Características de los datos.*

Algunos de los métodos estadísticos utilizados para comparar la distribución en el tiempo y el espacio están basados en la independencia de las variables y de los tratamientos. En esta sección se discute el efecto del comportamiento reproductivo en esos supuestos.

Los contrastes dentro de las temporadas fueron realizados con la consideración de que cada día, mes o semana era un "tratamiento". Sin embargo, aproximadamente el 60% de las hembras inició la segunda oviposición a partir de la cuarta o quinta semana, lo que podría repercutir en la independencia de los datos y en la utilidad de los métodos paramétricos. Sin embargo, la variabilidad de la distribución en la escala horaria y la falta de correlación de las arribaciones entre los meses sugieren que la presencia de las hembras sobre la playa responde a situaciones particulares y pueden considerarse como eventos independientes.

En los análisis utilizados para comparar los patrones de distribución entre las temporadas, cada una de éstas fue considerada como una variable, por lo que el grado de independencia entre ellas podría estar determinada por la proporción de hembras comunes (reemigrantes).

El decremento acelerado de la abundancia de la población anidadora entre 1978 y 1987 permitió intuir que la tasa de mortalidad fue elevada; por el contrario, la tendencia creciente que inició en ese último año, indica que el reclutamiento y la supervivencia se han estado incrementando (Márquez, com. pers.) También debe considerarse que, dada la elevada tasa de pérdida de la marca metálica, probablemente se ha subestimado la proporción de hembras reemigrantes.

En consecuencia, es plausible que el grado de dependencia entre las temporadas este asociado a los ciclos de reproducción. Según Márquez (1994), la mayoría de las hembras anidan anualmente, sin embargo, el seguimiento de las marcas metálicas sugiere que los ciclos de la mayoría de las hembras fueron bianuales, lo que permite creer que en cada temporada se mezclaron tortugas que anidaron el año anterior con las que desovaron dos o tres años antes.

A partir de esta información es posible suponer que el segmento de la población compuesto por los individuos que anidaron por primera vez en su vida (neófitas) fue independiente, mientras que dentro de las reemigrantes la dependencia estuvo determinada por los ciclos de anidación.

El análisis de la distribución espacial muestra diferencias entre las ubicaciones de los nidos de una hembra en y a lo largo de los años, lo cual indica que hubo independencia en la selección de esas zonas. Por lo tanto, los resultados obtenidos de los análisis paramétricos elaborados para comparar la distribución fueron complementarios a los no paramétricos, aplicados para moderar el efecto de la posible dependencia entre las variables.

### *Eficiencia de las marcas metálicas.*

Los análisis demostraron que la probabilidad de que las marcas metálicas permanezcan adheridas a las aletas en las mismas temporadas en las que son colocadas es elevada. No obstante, la generalización de las probabilidades estimadas debe hacerse con cuidado, porque también dependen de las aleaciones con las que se fabrican las marcas (Bjrnordal *et al.*, 1996; Limpus, 1992). En Rancho Nuevo se han colocado grapas de titanio, inconel y monel. Las primeras se utilizaron entre 1983 y 1988 y las de inconel desde 1992. Las de monel se han colocado desde 1966 y en algunos años se utilizaron simultáneamente dos tipos de marcas, aunque no en la misma hembra.

Cabe señalar que no fue posible valorar las probabilidades para las marcas de titanio porque en esos años no se realizaron experimentos de doble marcado y la elevada mortalidad de ese período incrementó su pérdida (Saber, 1982; Wheterall, 1982). No obstante Limpus (1992) estimó la pérdida de esta marca entre 0 y 0.111 en las playas de anidación de tortuga blanca (*C. mydas*). Por otra parte, a partir de 1992 se colocaron simultáneamente marcas de acero monel e inconel y desde 1997 sólo de esta última aleación. La semejanza de la probabilidad de retención dentro de las 7 temporadas analizadas permitió suponer que fue independiente de la aleación.

En los análisis entre temporadas, no fue posible determinar la influencia del material, sin embargo, la constancia de la proporción de las hembras que llegaron con marca entre 1984 y 1995 ( $\approx 56\%$ ) permite suponer que la probabilidad de pérdida debió ser constante e independiente del tipo de aleación, sin embargo, puesto que los experimentos de doble marcado son más eficientes, se asume que puede ser de 0.7.

#### *Características de la población que posiblemente afectaron su distribución.*

La forma en que ha evolucionado la abundancia de la población anidadora permite suponer que también ha cambiado su composición. Es probable que antes de 1987 las hembras "viejas" hayan sido más numerosas, mientras que a partir de ese año, se hayan incrementado las reclutas y las remigrantes jóvenes, afectando de alguna manera su distribución en el tiempo y el espacio.

La tendencia en el número de arribaciones ha sido creciente desde 1982 y ha estado significativamente relacionada con la abundancia. Esto sugiere que estas agrupaciones están más relacionadas con este factor que con la composición del stock de hembras maduras, como se ha reportado en la población de *L. olivacea* de La Escobilla (Márquez et al., 1998).

El incremento en la abundancia de organismos jóvenes podría afectar otras características, tales como los intervalos entre anidaciones dentro y entre las temporadas. Cabría esperar una relación directa entre esos lapsos y el número de hembras jóvenes, sin embargo, los resultados no muestran alguna tendencia, y aparentemente la dispersión de los datos está determinada por el tamaño de la muestra y la eficiencia con la que fueron observadas las hembras, puesto que antes de 1990, cuando los intervalos entre desoves consecutivos fueron mayores, la proporción de hembras observadas fue menor al 60%.

También podría suponerse que la distribución diaria sobre la playa sería más variable entre las hembras jóvenes, lo cual estaría asociado con un valor bajo del coeficiente W de Kendall. Desde 1987 este coeficiente se incrementó paulatinamente, lo que apoya la hipótesis planteada, pero también sugiere que la distribución podría estar relacionada con un proceso de aprendizaje, de lo que no hay evidencia, aunque se ha señalado que puede influir en la adaptación de los individuos jóvenes al medio (Melligen y Mann, 2000).

La correlación entre la abundancia y el incremento en el área utilizada para desovar indica que la selección de las áreas de anidación estuvo relacionada con algún factor biológico. Se ha propuesto que algún agente químico secretado por las mismas tortugas es utilizado como medio de comunicación. Estos organismos poseen una serie de glándulas (denominadas como de "Rhatke") en los márgenes externos óseos del hio e hipo-plastron, que desembocan al exterior por un pequeño poro (Márquez, 1994) a través del cual secretan una mezcla de compuestos no ácidos y complejos de glicoproteínas, que posiblemente funcionan como feromonas (Mason, 1992; Márquez, 1994). Además de estas sustancias, en *C. mydas* se han detectado secreciones de la

cloaca que presumiblemente contribuyen a congregarse a machos y hembras (Comuzzie y Owens, 1990).

La preferencia de las tortugas sobre áreas específicas de la playa puede ser consecuencia de la presión intraespecífica y de la comunicación mediada por estas sustancias. Sin embargo, también es posible que el entorno abiótico propicie estas agrupaciones, puesto que la selección de la zona de anidación varía entre temporadas.

### *Patrones de la distribución temporal*

En esta sección se sugiere el itinerario que siguen las tortugas desde que llegan a la playa hasta que se retiran y se hace mención de algunos de los mecanismos que podrían regular esta conducta. Los resultados se discuten abordando a todo el conjunto de hembras, en primera instancia, y comparando esos patrones de distribución con la de los individuos.

#### *Llegada de las hembras a la playa.*

Las dificultades operativas en los campamentos no permitieron observar a todas las hembras, por lo que no fue posible determinar si llegaron dentro de un periodo determinado o a lo largo de toda la temporada. En consecuencia se aportan argumentos a favor de ambas hipótesis.

La distribución a escalas mensual y semanal mostró que una elevada proporción de las observaciones se concentró en periodos definidos, lo cual, aunado al intervalo entre la fecundación y el primer desove (Owens, 1997), permiten suponer que una gran cantidad de hembras arriba a la zona dentro un periodo que podría extenderse desde la segunda quincena de febrero o la primera de marzo, hasta los primeros días de mayo. Esto sugiere que las hembras que anidan desde finales de mayo podrían estar anidando por segunda o tercera vez, y que los nidos detectados al final de la temporada serían depositados por hembras multiparas.

La hipótesis alternativa plantea la posibilidad de que las hembras lleguen a lo largo de toda la temporada. La distribución semanal permite suponer que podrían aproximarse a la zona en dos o tres grupos de hembras; aunque esto implicaría que la mayoría pusiera sólo un nido. En La Escobilla, en donde el periodo de desove se ha extendido de tres a cuatro meses en los últimos años (Márquez *et al.*, 1997; Márquez *et al.*, 1998), se presume que diferentes grupos de hembras y machos llegan a lo largo de la temporada.

A favor de esta hipótesis hay que agregar que a diferencia de los machos de tortuga golfina, que emigran a la mitad de la temporada, después de fecundar a la mayoría de las hembras (Plotkin *et al.*, 1996), los de tortuga lora permanecen sobre la plataforma de Tamaulipas durante todo el año (Shaver *et al.*, en rev.), por lo que no habría límites al periodo de apareamiento. Sin embargo, este proceso posiblemente sea acotado por la secreción hormonal, ya que en marzo se incrementan las hormonas relacionadas con el apareamiento (tiroxina y testosterona) tanto en hembras, como en machos (Rostal *et al.*, 1998). Ambas sustancias presentaron un pulso de secreción durante el otoño que fue asociado a la formación del vitelo en los óvulos y a la espermatogénesis.

La información disponible no permite descartar alguna de las hipótesis y es probable que, como ha ocurrido con la tortuga golfina que anida en La Escobilla (Vasconcelos, com. pers.), se presenten ambas situaciones, esto es, que un grupo grande llegue en un periodo determinado y que otros más pequeños continúen arribando durante toda la temporada en cantidad proporcional a la abundancia de la población.

### *Horario preferido para la anidación.*

En relación con la distribución horaria se encontró que la mayoría de los nidos fueron depositados al medio día. No obstante, cabe destacar que en varias arribazones hubo cambios significativos en el horario preferido antes, durante y después de estos eventos. Por otra parte, en algunas temporadas los nidos fueron depositados dentro de un horario estrecho, mientras que en otras, fue mayor la dispersión. Estas variaciones deben estar determinadas por las necesidades de regulación térmica de las tortugas.

### *Características de las arribazones*

Una de las características más conspicuas de este género es la formación de arribazones, las cuales se han observado en todas las temporadas, aunque en cuatro de ellas el comportamiento gregario fue menos conspicuo (años "sin arribazones"), ya que no hubo arribazones en alguno de los meses y más de la mitad de las hembras desovaron en solitario.

Arbitrariamente se clasificaron como arribazones a los días en los que se depositaron al menos 50 nidos; sin embargo, en 1982, cuando sólo dos días presentaron esta característica, se detectaron otros cinco en los que anidaron entre 40 y 50 hembras, lo cual contrastó con otras temporadas en las que sólo se encontraron una o dos fechas con esta abundancia. Estos datos afectaron tanto la estimación de la longitud de la temporada, como su clasificación y sugieren que el criterio de 50 nidos en ocasiones es inadecuado.

El número de arribazones varió a lo largo del periodo de estudio de manera similar a la abundancia de la población anidadora, sin embargo, puesto que la tendencia antes de 1994 fue menos acusada que en las últimas temporadas, cuando fue exponencial, es probable que el aumento en la abundancia deba ser grande para que repercuta en la cantidad de arribazones. Por el contrario, en tres de los cuatro años sin arribazones, las diferencias en la anidación con respecto a la temporada anterior fueron pequeñas o negativas.

En contraste con la tendencia lineal del número de arribazones, el porcentaje de la población que se presentó en estos eventos, mostró fluctuaciones que podrían ser cíclicas, aunque cabe señalar que los datos analizados fueron insuficientes. Estos "ciclos" aparentemente estuvieron relacionados con la abundancia, porque en los años que correspondieron a la cresta de cada onda, la anidación se incrementó.

El número de arribazones y la proporción de las hembras que se presentaron en ellas fue mayor y menos variable en mayo que en abril y junio; lo que permite suponer que en ese mes hay condiciones que propician la agrupación de los organismos.

Por otro lado, sobre la base de la correlación negativa entre la anidación de abril y mayo con la de junio, se formuló la hipótesis de que la abundancia de algún mes en particular, podría influir en el número y tamaño de las agrupaciones del resto de la temporada. No obstante, esta variable no estuvo relacionada con el número de arribazones totales, ni con la extensión de la temporada de anidación y puesto que las arribazones de un mes sólo fueron significativas con la abundancia del mismo mes, es razonable suponer que estos eventos hayan sido independientes entre sí.

Las arribazones no mostraron alguna periodicidad definida, ya que los intervalos entre ellas fueron variables dentro y entre temporadas. Las más frecuentes fueron menores a cinco días e indican que la duración de algunas arribazones fue mayor a un día, como sucede en La Escobilla, Oax. Los

intervalos entre 5 y 10 días observados al principio de la temporada, posiblemente reflejaron la presencia de diferentes conjuntos de hembras sobre la playa. En el lapso de estudio hubo unos cuantos intervalos mayores a 20 días, que estuvieron inversamente relacionados con la abundancia, porque cuando ésta última se incrementó significativamente, los lapsos más largos duraron aproximadamente 15 días.

Por otra parte, las arribazones se presentaron simultáneamente a lo largo de la playa comprendida entre Soto la Marina y Barra del Tordo y sólo excepcionalmente se desfilaron. Esta sincronía sobre un área tan extensa sugiere que los mecanismos que contribuyen a regular este comportamiento, además de estar relacionados con la abundancia, posiblemente sean ambientales. Casas-Andreu (1978) y Castro *et al.* (1998), entre otros, han mencionado que el viento y la marea podrían sincronizar los cronómetros internos. Cuando los organismos anidan en solitario es posible suponer que las condiciones ambientales fueron poco propicias.

#### *Frecuencia de anidación dentro de las temporadas.*

Los resultados del Programa de Marcado indican que un porcentaje variable entre el 50 y 60% de la población anidó más de una vez. La distribución temporal de las hembras sugiere que el primer desove fue más frecuente entre las primeras cuatro o cinco semanas, mientras que el segundo desde de la cuarta o quinta semana, y el tercero a partir de la décima o undécima semanas. Esta secuencia muestra que una elevada proporción de las hembras detectadas en mayo y junio estaban re-anidando.

En algunas especies, la regularidad de los intervalos entre anidaciones deja suponer que son independientes del medio. En la tortuga lora, Pritchard (1969) y Pritchard y Gicca (1980) plantearon la hipótesis de que el medio incidía en ese lapso, pero la información disponible era escasa. Sobre esta base, se compararon los intervalos dentro y entre las temporadas con dos conjuntos de datos, el de las hembras que anidaron dos veces y el de las que lo hicieron en tres ocasiones.

En el primer caso, fue posible analizar 18 años y obtener un mayor número de registros. A este respecto, Alvarado y Murphy (1999) recomendaron una muestra mínima de 100 datos, que fue muy difícil de alcanzar, aún cuando la proporción de hembras observadas fue grande. El principal problema que presentaron los datos de las hembras que anidaron dos veces fue su dispersión, puesto que hubo periodos en los que la mayoría de los registros correspondió a "nidos solos".

Las hembras que desovaron tres veces permitieron acotar con mayor precisión la longitud de los intervalos, sin embargo, el tamaño de la muestra fue pequeño e incluso insuficiente en algunas temporadas. En consecuencia, para describir los intervalos entre anidaciones se combinaron los resultados del análisis de ambos conjuntos de datos.

Las distribuciones de frecuencia fueron bimodales. En algunas especies la segunda moda fue un múltiplo de la primera, por lo que se asumió que correspondió a desoves no observados; sin embargo, la tortuga lora también mostró modas significativamente distintas que indicaron la presencia de dos ciclos: el primero de aproximadamente 20 días y el segundo de 30 días. Estos resultados fueron similares a los obtenidos con el análisis espectral, lo que sugiere que los periodos obtenidos con éste método reflejan la ocurrencia de desoves consecutivos.

La presencia de los dos ciclos fue más evidente en el primer lustro de los noventa, cuando el número de hembras observadas fue mayor que en los años previos, en los que sólo se detectó un

período. Esto sugiere que el tamaño de la muestra influyó en las estimaciones y por lo tanto que la existencia de dos ciclos debe ser más frecuente de lo detectado.

Márquez (1994) mencionó que *L. kempi* presentó dos ciclos entre desoves, el primero de 18 a 20 días y el segundo alrededor de los 38 días, los cuales dependieron de que la hembra fuera neófito o reemigrante; sin embargo, el autor no presentó detalles sobre el tamaño de las muestras y sus parámetros estadísticos. La duración aproximada del primer intervalo coincidió con la de este trabajo, pero no la del segundo. Es probable que éste último haya sido sesgado por las hembras a las que no se les detectó un nido intermedio.

Las hembras que anidaron en tres ocasiones en una temporada presentaron intervalos, tanto diferentes como similares, incluso dentro de un mismo año; mientras que entre las temporadas la mayoría de los intervalos fueron distintos y al compararse con la duración de los períodos entre las hembras con dos anidaciones hubo coincidencias en el sentido de las variaciones en el 60% de las temporadas analizadas.

La duración de los intervalos estuvo inversamente relacionada con la abundancia de las arribazones, así por ejemplo, en las temporadas en que el período entre el segundo y tercer nido fue largo, las abundancias de las arribazones fue menor al final de la temporada (junio), mientras que en 1995, año en que ambos intervalos fueron estadísticamente iguales, el comportamiento gregario fue muy conspicuo. Sin embargo, hay que mencionar que en 1996, cuando los intervalos también fueron similares, no se reportaron arribazones en mayo.

Por otra parte, con excepción de 1992, la presencia de ciclos diferentes durante el primer lustro de los noventa coincidió con la expansión de las hembras hacia el Sur de la playa.

A partir de esta información se puede concluir que los intervalos entre anidaciones consecutivas pueden modificarse a lo largo de las temporadas y entre los individuos. Las diferencias entre las temporadas probablemente reflejen el efecto de factores ambientales de corta duración, así como los cambios en la condición de las tortugas a lo largo del período de reproducción, mientras que las variaciones entre temporadas posiblemente muestren las diferencias en la composición de la población.

Al comparar la periodicidad entre anidaciones consecutivas con los resultados de los análisis de las series de tiempo, destacaron dos particularidades. La primera es la coincidencia de los ciclos de más de 20 días con los intervalos estimados, por lo que es probable que exista alguna relación entre ellos. La segunda, que resulta de combinar esos lapsos con los ciclos de 7 y 10 días, sugiere que hay grupos que se alternan en el desove, e.g. algunas de las tortugas que llegan en la primera semana retornarían alrededor de la cuarta, y las que arriban en la segunda semana, regresarían en la quinta, etc. Esto no implica la existencia de algún tipo de asociación hacia el interior de cada conjunto.

#### *Frecuencia de las anidaciones entre temporadas.*

La frecuencia de la anidación, probablemente fue bianual en la mayoría de las hembras, dada la similitud con la que se recuperaron las marcas de monel y titanio entre las temporadas. Sin embargo, no puede descartarse que algunos individuos presenten diferentes combinaciones de períodos, dependientes de su estado fisiológico. Este resultado difiere del presentado por Márquez (1994), quien ha mencionado que estos ciclos son anuales y en menor proporción bianuales y trianuales.

### *Patrones de distribución espacial.*

Entre 1982 y 1998 se extendió la franja de la playa cubierta por los nidos. Ese incremento, aunque paulatino, ha ocurrido en pequeños "saltos". Entre 1982 y 1984 los organismos se concentraron en una superficie pequeña, posteriormente la distribución cambió de uni a multimodal y se inició el incremento del área cubierta por los nidos. Por otra parte, hasta 1990, la mayoría de los nidos eran depositados hacia el Norte del campamento. A partir de ese año se acrecentó el desove hacia el Sur, particularmente desde 1993.

Ocasionalmente y bajo condiciones extraordinarias, las hembras se dispersaron más allá del área históricamente preferida. Así por ejemplo, en 1989 aunque la anidación se acumuló hacia el Norte también se extendió hacia el Sur, por lo que cubrió una longitud considerablemente más amplia que en los años anteriores, mientras que en 1990 fue similar a la de 1987. Márquez *et al.* (1990) señalaron que en 1989 gran parte del área en la que tradicionalmente se concentraba la anidación, estaba recubierta por rocas en forma de laja, mientras que en 1990 la mayoría habían sido enterradas o arrastradas por el oleaje (Díaz, com. pers.).

Esto también se reflejó en la distribución sobre el perfil de la playa. En todas las temporadas analizadas, con la excepción de 1990, la posición preferida fue arriba de la línea de marea viva más alta. En ese año la anidación fue más abundante hacia la rompiente, ubicación que fue utilizada en muy pocas ocasiones y como una respuesta ante condiciones puntuales.

Estas variaciones permiten suponer que las poblaciones tienen capacidad de modificar su distribución espacial ante situaciones extremas. Es probable que si los agentes modificadores actuaran de manera constante podrían introducir algunos cambios en los patrones de distribución.

La distribución en escalas mensual y anual presentó pocas variaciones. Los análisis paramétricos, aún con las observaciones incluidas al principio de la Discusión, sólo mostraron diferencias en la distribución general de 1989 y 1992, cuando la anidación fue ligeramente mayor al Norte de Rancho Nuevo. Los métodos no paramétricos también permitieron distinguir la distribución de 1997 y 1998, temporadas que se caracterizaron por el incremento abrupto de la población; el pequeño valor de los coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre esos años y los anteriores a 1987, fueron el resultado de las diferencias en la abundancia y la extensión cubierta por las hembras en 1998.

En la mayoría de las temporadas los puntos en donde la densidad fue mayor permanecieron más o menos constantes, en especial los del Norte. Esto permite suponer que al incrementarse la abundancia, las hembras empiezan a retornar a las áreas que habían ocupado tradicionalmente, como aparentemente ha ocurrido en el Sur. Sin embargo, se desconoce si llegará un momento en el que el área permanezca más o menos constante, como ha estado ocurriendo con la golfinia que desova en La Escobilla.

En los párrafos anteriores se planteó la hipótesis de que los pequeños cambios en la distribución mensual dependieron de la cantidad de individuos. Sin embargo, los registros diarios presentaron mayores fluctuaciones ya que la forma de las distribuciones de frecuencia se encontraron entre uni y multimodales. Esto sugiere que aunque las hembras pudieron anidar en áreas diferentes entre días consecutivos, tendieron a coincidir a lo largo de cada una de las temporadas y esto permitió que la distribución mensual fuera constante. No obstante, debe considerarse que en algunos años

los patrones de distribución de las arribazones más abundantes definieron tanto el patrón mensual como el anual.

Como se mencionó en párrafos anteriores, la concordancia y el número de correlaciones significativas entre los días variaron a lo largo de las temporadas. El coeficiente de concordancia  $W$ , análogo al coeficiente de correlación múltiple, reflejó la dispersión de los datos diarios y aparentemente estuvo relacionado con la abundancia, puesto que los valores bajos coincidieron con un escaso número de arribazones y tortugas.

Los cambios de este coeficiente también estuvieron asociados con la evolución de la distribución de frecuencias de uni a bimodal. A partir de 1985, cuando se inició el decrecimiento de  $W$ , la distribución se amplió y las tortugas empezaron a anidar en el Sur, lo cual fue particularmente conspicuo en 1995 y 1996, y podría explicar el bajo valor de  $W$  en este último año.

Los coeficientes de correlación de Spearman ( $\rho$ ) obtenidos entre pares de días mostraron una tendencia similar al coeficiente  $W$ , puesto que la proporción de coeficientes significativos decreció a partir de 1982, pero a diferencia de  $W$ , la proporción más baja se obtuvo en 1989 y no en 1987. Estos coeficientes sirvieron como un indicador de la semejanza de la distribución entre pares de fechas. Si bien, la proporción de las correlaciones significativas pudo ser engañosa en las temporadas en las que hubo pocas arribazones, proporcionó una idea de la dispersión de las tortugas sobre la playa y de su preferencia por una zona en particular.

Cuando se compararon las variaciones de los coeficientes de correlación  $\rho$  con los días transcurridos entre éstos, no se encontró algún patrón. Esto permitió suponer que los individuos que componían las arribazones cambiaron entre eventos o que éstos seleccionaron diferentes sitios a lo largo de la temporada. En este último caso es posible suponer que cada anidación es un evento independiente.

Para evaluar la dispersión en la que anidaron los individuos se dio seguimiento a cada uno de sus nidos. No obstante, aunque la ubicación de los nidos de las hembras que desovaron dos o tres veces en una temporada tendió a ser similar, la magnitud del desplazamiento absoluto muestra amplias variaciones entre temporadas y que esta especie es menos precisa que la tortuga golfina (Márquez et al., 1976).

Cabe destacar que, con independencia de la pareja de nidos comparada (e.g. uno y dos de las hembras que desovaron dos veces), la correlación entre la ubicación del primer nido y la distancia entre los nidos consecutivos fue artificialmente negativa. La acumulación de datos en el primer y tercer cuadrante proporcionó la "tendencia negativa" entre las variables y mostró que las hembras trataron de ir hacia la zona de mayor concentración cuando anidaron lejos de ella. La nube de datos fue más densa en el origen de los ejes de coordenadas, como consecuencia de la propensión de las tortugas para reunirse en una zona. Esto sugiere que los individuos tendieron a compensar sus desviaciones del patrón de la población y que las variaciones del desplazamiento neto entre las temporadas indican que algún factor regula la distribución.

Puesto que se asume que el área de anidación está determinada genéticamente, las distancias de 20 ó 30 kilómetros entre algunos pares de nidos, insinúan la influencia de factores exógenos. Empíricamente, se ha establecido que el viento puede modificar la distribución, no obstante, ya que esas distancias sólo se presentaron en una pequeña parte de la población, es probable que sean respuestas individuales a eventos puntuales.

Las hembras tendieron a acumularse alrededor de Rancho Nuevo, por lo que fue mayor la proporción de individuos observados en la misma temporada en los campamentos periféricos y en Rancho Nuevo, que en sentido inverso. Por otro lado, esas proporciones aparentemente presentaron fluctuaciones bianuales y estuvieron inversamente relacionadas entre sí.

Los datos analizados fueron insuficientes, sin embargo, sugieren que algunas hembras anidaron en un área extensa y, puesto que las observadas en Barra del Tordo fueron más móviles, que las hembras que inicialmente desovaron en el extremo Norte de la playa, "corrigieron" su ubicación en los desoves sucesivos.

Según Márquez (com. pers.) la continuidad de la línea de costa favorece la dispersión de la anidación y propicia la sincronía en el desove. La capacidad de las hembras para desovar en diferentes zonas de la playa permitió incrementar las probabilidades de supervivencia de alguno de sus nidos, particularmente cuando la densidad poblacional fue muy grande (Márquez, com. pers.), por otra parte, es probable que esta característica contribuya a que los nidos se incuben en diferentes condiciones térmicas y sedimentarias.

La variabilidad de la distribución de las hembras sobre la playa mostró que hubo diferencias significativas entre las ubicaciones entre las temporadas. Por otra parte, fue mayor la probabilidad de que las hembras observadas por primera vez en Tepchhuajes, en una temporada posterior fueran registradas en Rancho Nuevo, que las de Barra del Tordo. Estos resultados estuvieron limitados por la capacidad de observación de estos campamentos, no obstante, deberán ser considerados al estimar la abundancia de hembras que anidan a lo largo de la costa de Tamaulipas y cuando se evalúe la proporción de hembras neófitas.

## CONCLUSIONES

1. Los cambios en la abundancia dentro y entre las temporadas influyeron en el número de arribazones y en la dispersión de las hembras sobre la playa de anidación. Es probable que las diferencias en la composición individual sean menos importantes.
2. La distribución mensual y semanal de los nidos sugiere que la mayoría de las hembras llegaron a la zona de anidación entre finales de febrero y los primeros días de mayo. Esta hipótesis es apoyada por los análisis endocrinológicos de Rostal *et al.* (1998) que indican que se aparecen en marzo. Sin embargo, no es posible descartar que algunas tortugas lleguen en meses posteriores.
3. Las fluctuaciones en la proporción de nidos detectada en abril y su correlación negativa con la de junio sugieren que el ambiente contribuyó a regular la llegada de las hembras y el inicio de la temporada de anidación. Esto apoya la hipótesis de que las hembras llegan a la zona de anidación en los primeros meses de la temporada.
4. Las hembras se detectaron sobre la playa en ciclos cuya frecuencia fluctuó entre 1 y 26 días. Los periodos menores a 20 días coincidieron con los intervalos entre arribazones y probablemente representaron la llegada de diferentes conjuntos de hembras; mientras que sólo un pequeño porcentaje correspondió a las que fueron incapaces de anidar en algunas de sus llegadas a la playa. Las frecuencias mayores posiblemente reflejen los desoves consecutivos de las hembras múltiples y estén relacionadas de manera inversa con la abundancia.

5. Las arribazones se presentaron en diferente cantidad y frecuencia, aunque fueron más abundantes en mayo, que en abril y junio. Su duración varió entre uno y tres días. Estos eventos fueron independientes entre sí y su ocurrencia, dependió de la abundancia de las hembras y de un entorno ambiental particular. En general, su número no influyó en la duración de la temporada, aunque hubo cierto indicio de que fue más corta cuando las arribazones fueron abundantes en abril.
6. Los años fueron clasificados de acuerdo a la cantidad y porcentaje de hembras que se presentaron en las arribazones; cuatro fueron tipificados como "sin" arribazones, porque menos del 50% de las hembras se agruparon para anidar. En tres de esos años la llegada de las hembras fue tardía y la diferencia en el número de nidos con respecto a la temporada anterior fue mínima o negativa
7. En los años con arribazones, más del 50% de las tortugas se presentaron en forma gregaria. Las arribazones ocurrieron simultáneamente en los aproximadamente 100 km que se protegen desde los campamentos de Tepehuajes, Rancho Nuevo y Barra del Tordo. Sin embargo, las fluctuaciones en la distribución horaria posiblemente estuvieron determinadas por las necesidades de regulación térmica de las tortugas
8. La distribución de las hembras sobre la playa a escala mensual presentó pocos cambios. La mayor parte de las hembras anidaron al Norte del campamento del Rancho Nuevo, mientras que en el Sur, el incremento de los desoves fue proporcional a la abundancia
9. La forma de la distribución espacial se transformó de uní a polimodal a través de los años. Las temporadas comprendidas entre 1983 y 1986, 1991, 1993 así como entre 1995 y 1998, presentaron características de transición
10. La variabilidad diaria en la distribución espacial estuvo relacionada con la abundancia, la evolución de la distribución de frecuencias de las ubicaciones de uní a polimodal y posiblemente con la ocurrencia de fenómenos atmosféricos u oceánicos. Bajo condiciones extraordinarias, tales como la ocurrencia de huracanes, se modificó la forma de la distribución, la extensión de la franja sobre la que anidan y la posición de las hembras en el perfil de la playa.
11. Los registros diarios presentaron mayores fluctuaciones que los mensuales ya que las distribuciones de frecuencia variaron entre uní y multimodales. Esto sugiere que aunque las hembras pudieron anidar en áreas diferentes entre días consecutivos, tendieron a coincidir a lo largo de cada una de las temporadas y esto permitió que la distribución mensual fuera aproximadamente constante
12. La evaluación del uso de las marcas metálicas permitió determinar que la probabilidad de que este artefacto permaneciera adherido en la aleta dentro de cada temporada fue cercana al 95% e independiente del tipo de aleación. La pérdida de las marcas metálicas dentro de la temporada es constante y pequeña. El factor para corregir la doble identificación de una hembra por la pérdida de la marca en un año fue de 0.05
13. La identificación de las marcas fue confiable puesto que el error cometido en la lectura fue pequeño.

14. La pérdida de marcas entre las temporadas fue cercana al 70% y de acuerdo a la proporción de hembras reemigrantes que portaban marca en la primera captura, posiblemente fue constante e independiente del tipo de aleación de la grapa.
15. El número de desoves que fue posible reconocer de una hembra, estuvo determinado por el esfuerzo aplicado en cada una de las temporadas, más que por las características y manejo de las marcas.
16. La proporción de hembras que anidaron una vez fue cercana al 40%, mientras que el resto lo hizo en un mayor número de ocasiones. Esto sugiere que la frecuencia de la anidación es cercana a los 1.73 nidos por temporada, estimada por Márquez (1994).
17. La distribución temporal hipotética de las anidaciones consecutivas se estableció de la siguiente manera: el primer nido se depositó entre la primera y la quinta o sexta semana; el segundo, a partir de la sexta y el tercero desde la décima o undécima semanas.
18. Es plausible que se hayan presentado dos intervalos entre las anidaciones, el primero se encontró alrededor los 20 y el segundo de los 30 días. En algunas temporadas se presentaron ambos. La información no permitió determinar cual fue más frecuente.
19. Las diferencias en los intervalos dentro de las temporadas posiblemente fueron el resultado de la influencia de factores ambientales de corta duración y de carácter local, mientras que las variaciones entre las temporadas posiblemente reflejen la diversidad individual de la población.
20. Las hembras se concentraron en algunos puntos específicos de la playa en cada temporada y en los casos en los que anidaron fuera de ellos, tendieron a compensar esas desviaciones en los desoves posteriores, por lo que el desplazamiento neto, fue significativamente menor que el "absoluto".
21. Ocasionalmente la distancia entre los nidos consecutivos de los individuos fue grande y podría ser un indicador de la precisión de las hembras para seleccionar un área en particular, así como de la respuesta de los individuos a situaciones puntuales.
22. La dirección dominante en la que se presentaron los cambios en la ubicación de los nidos entre las temporadas fue variable, lo cual evidencia el efecto diferencial de los factores que contribuyen a regular la distribución y permite suponer que son abióticos.
23. El desplazamiento absoluto muestra que estas tortugas anidan sobre una franja de playa más amplia que los individuos de otras especies, como la *L. olivacea*. Una pequeña proporción de las hembras anidó en una amplia franja, por lo que comprendió Rancho Nuevo y alguno de los campamentos periféricos.
24. Existe un alto grado de fidelidad de las hembras a la zona de Rancho Nuevo y en menor grado a la de Tepehuajes. Las hembras que anidaron en Barra del Tordo fueron más móviles que las de Tepehuajes.
25. La capacidad de anidar en diferentes zonas de la playa probablemente incremente las probabilidades de supervivencia de alguno de los nidos, particularmente cuando la densidad poblacional es muy grande.

26. La frecuencia anual de la anidación, probablemente fue bianual en la mayoría de las hembras,
27. La variabilidad de la distribución de las hembras sobre la playa mostró que hubo diferencias significativas entre las ubicaciones a lo largo de las temporadas, aunque esto debe ser apoyado por análisis posteriores. Por otra parte fue mayor la probabilidad de que las hembras observadas por primera vez en Tepehuajes fueran registradas en una temporada posterior en Rancho Nuevo, que las de Barra del Tordo.

#### LITERATURA CITADA

- Alvarado, J. y T. M. Murphy. 1999. Nesting periodicity and interesting behavior. In: K. L. Eckert, K. A. Bjorndal, F. A. Abreu-Grobois y M. Donnelly (Ed). Research and management techniques for the conservation of sea turtles. IUCN/SSC. Marine Turtle Specialist Group Publicaciones No. 4 pp:115-118
- Barry, R. G. y R. J., Chorley. 1987. Atmosphere, weather and climate. 5a. ed. Routledge. 441 pp.
- Battacharya, C. C. 1967. A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components. Biometrika. 23:115-135
- Bjorndal, K., A. B. Bolten, C. J. Lagueux y A. Chaves. 1996. Probability of tag loss in green turtles nesting at Tortuguero, Costa Rica. Journal of Herpetology. 30(4):567-571
- Casas-Andreu, G. 1978. Análisis de la anidación de las tortugas marinas del género *Lepidochelys* en México. An Centro Ciencias Mar y Limnol. UNAM, 5(1):141-157
- Castro, R., A. S. Leo, E. Conde y R. Orta. 1998. Incidence of the Kemp's ridley sea turtle (*L. kempi*) in relation to the tide cycle in Rancho Nuevo, Tamaulipas. Memoria de Resúmenes. 18th Simposio Internacional sobre Tortugas Marinas. Mazatlán, Sin. 3-17 marzo 1998. p:90
- Chávez, H. 1969. Tagging and recapture of the lora turtle (*Lepidochelys kempii*). Int. Turt. and Tort. Soc. J. 3(4).14-19, 32-36
- Collard, S. B. 1987. Review of oceanographic features relating to neonate sea turtle distribution and dispersal in the pelagic environment: Kemp's ridley (*Lepidochelys kempi*) in the Gulf of Mexico. Final Report. Contract no. 40-6FNF-S00193. NOAA. Florida, 35 pp.
- Collard, S. B. y L. H. Ogren. 1990. Dispersal scenarios for pelagic post-hatchlings sea turtles. Bull. Mar. Sci. 47(1):233-243
- Comuzzie, D. K. C. y O. Wm Owens. 1990. A quantitative analysis of courtship behavior in captive green turtles (*Chelonia mydas*). Herpetologica 46, 195-202.
- Daniel, W. W. 1977. Bioestadística Base para el análisis de las ciencias de la salud. Limusa. México. 667 pp.
- Dodd, C. K. 1988. Synopsis of the biological data on the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* (Linnaeus 1758). Biological Report 88 (14), FAO Synopsis NMFS-149 Fish and Wildlife Service, U. S. Department of the Interior, Washington, D.C. 110 pp.

- Henwood, T. A. y L. H. Ogren. 1987. Distribution and migrations of immature Kemp's ridley turtles (*Lepidochelys kempi*) and green turtles (*Chelonia mydas*) off Florida, Georgia and South Carolina. Northeast Gulf Science. 9(2):153-159
- Hildebrand, H. H. 1963. Hallazgo del área de anidación de la tortuga marina lora *Lepidochelys kempi* (Garman), en la costa occidental del Golfo de México. Ciencia. 22(4):105-112
- Johnson, S.A., A.L. Bass, B. Libert, M. Marshall y D. Fulk. 2000. Kemp's ridley (*Lepidochelys kempi*) nesting in Florida. In: H.J. Kalb y T. Wibbels (Eds) Proc. of the 19th Annual Symposium Sea Turtle Conservation and Biology. U.S. Dept. Commerce. NOAA Tech. Memo. NMFS-SEFSC-443, p 283.
- Kichler, K., D. W. Owens, R. Márquez y S. Davis. 1996. Population bottleneck. How much genetic damage has man done to the Kemp's ridley? In: R. Byles y Y. Fernandez (Ed.) Proceedings of the Sixteenth Annual Symposium on sea turtle Ecology and Conservation. NOAA. Technical Memorandum NMFS-SEFSC-412 p. 83
- Krebs, C.J. 1978. Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance. 2a. Ed. Harper and Row Publishers. USA. 678 pp
- Lasdon, L.S. y A.D. Warren. 1986. GRC2 User's Guide. Department of General Business, The University of Texas at Austin Austin, Texas
- Limpus, C. J. 1992. Estimation of tag loss in marine turtle research. Wildl. Res. 19:457-469.
- Margalef, R. 1977. Ecología. Omega Barcelona. 951 pp
- Márquez, R. 1996. Las tortugas marinas y nuestro tiempo. La Ciencia desde México. No. 144. Fondo de Cultura Económica. México. 197 pp
- Márquez, R. 1994. Sinopsis de datos biológicos sobre la tortuga lora, *Lepidochelys kempi* (Garman 1880) FAO Sinopsis sobre la Pesca no 152. Secretaria de Pesca. Instituto Nacional de la Pesca. 141 pp
- Márquez, R., P. Burchfield, M. A. Carrasco, M. C. Jiménez, J. Díaz, M. Garduño, A. L. Peredo, J. Peña, R. Bravo y E. González. 2001. Update on the Kemp's ridley turtle nesting in Mexico. Marine Turtle Newsletter. 92: 2-4.
- Márquez, R., R. Byles, P. Burchfield, M. Sánchez, J. Díaz, M.A. Carrasco, A.S. Leo y M. C. Jiménez. 1996. Good news! Rising numbers of Kemp's ridleys nests at Rancho Nuevo, Tamaulipas, Mexico. Marine Turtle Newsletter 73: 2-5.
- Márquez, R., R. Byles, P. Burchfield, N. Thompson, M. Sánchez-P. J. Díaz, M.A. Carrasco, A.S. Leo y M. C. Jiménez. 1997. Recovery of Kemp's ridley sea turtle population at the mexican beach of Rancho Nuevo, Tamaulipas. Proc. XX Annual Mexus-Gulf Symposium NOAA Tech. Mem. NMFS-SEFSC-403. pp: 1-4
- Márquez, M., M. C. Jiménez, M. A. Carrasco y N. A. Villanueva. 1998. Comentarios acerca de las tendencias poblacionales de las tortugas marinas del género *Lepidochelys* después de la veda total de 1990. Océanides. 13(1): 41-62
- Márquez, R., M. C. Jiménez, A. S. Leo, M. Sánchez, J. Díaz, M. A. Carrasco y J. Vasconcelos. 1995. Informe Anual de las Investigaciones realizadas sobre tortugas marinas en

- la región de Rancho Nuevo, Tamaulipas, 1993. Informe interno. Programa Nacional de Investigación y Manejo de Tortugas Marinas. CRIP-Manzanillo, INP/SEMARNAP. 50 pp.
- Márquez R., M.C. Jiménez, M.A. Carrasco, J. Díaz, A. Leo. Peredo, M. Garduño y R. Bravo. 2001. Especies en Riesgo. Tortuga lora. Sustentabilidad y Pesca Responsable. Libro editado en CD. Instituto Nacional de la Pesca-SAGARPA. México
- Márquez, R., J. Vasconcelos, M. Sánchez, S. Sánchez, J. Díaz, C. Peñaflores, D. Ríos y A. Villanueva. 1990. Manual y Reglamento para la Operación de Campamentos Tortugueros. Instituto Nacional de la Pesca. Secretaría de Pesca. 67pp.
- Márquez, R., A. Villanueva y J. Contreras. 1973. Instructivo para la protección de las tortugas marinas. Instituto Nacional de la Pesca México. Ser. Div. S/D (2): 34 pp
- Márquez, R., A. Villanueva y C. Peñaflores. 1976. Sinopsis de datos biológicos sobre la tortuga golfina. *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz. 1829). INP Sinopsis sobre la Pesca no. 2. INP/S2. SAST-Tortuga Golfina-5.31(07), 016, 01, 61 pp.
- Mason, R. T. 1992. Reptilian pheromones. In: C. Gans y D. Crews (Eds) Biology of Reptilia. Behavioral Physiology. The University of Chicago Press. USA pp: 114-228.
- Mellgren, R.L. y M.A. Mann. 2000. What can a green sea turtle learn? In: F.A. Abreu-Grobois, R. Briseño-Dueñas, R. Márquez y L. Sarti (Eds). Proc 18<sup>th</sup> International Sea Turtle Symposium. US Dep. Commer. NOAA Tech Mem. NMFS-SEFSC-436. US. Dept. of Commerce, NOAA y NMFS. pp79
- Miller, J. D. 1997. Reproduction in sea turtles. In: P. L. Lutz y J. A. Musick (Eds) The biology of sea turtles. CRC Press Boca Ratón, Fl USA. pp
- Montgomery, D. C. 1984. Design and analysis of experiments. 2a. ed., Wiley, Nueva York, 391 pp.
- Morreale S. J. y E. A. Standora. 1999. Ecology of *Lepidochelys kempii* in Western Atlantic Developmental habitats and migratory corridors. Kemp's ridley Symposium. 19th Annual Symposium on Sea Turtle Conservation and Biology. South Padre Island, Tx. Marzo 1999 p 19
- Mrosovsky, N. y C. Pieau. 1991. Transitional range of temperature, pivotal temperatures and thermosensitive stages for sex determination in reptiles. Amphibia-Reptilia 12:169-179.
- Mrosovsky, N. y S. J. Shettleworth. 1982. What double tagging studies can tell us. Marine Turtle Newsletter, 22:11-15
- Musick, A. J. y C. J. Limpus. 1997. Habit utilization and migration in juvenile sea turtles. In: P.L. Lutz y J.A. Musick (Eds). The biology of sea turtles. CRC Press. Boca Ratón, Fl. USA. pp:137-364
- Owens, D. W. 1997. Hormones in the life history of sea turtles. In: P. L. Lutz y J. A. Musick (Eds). The biology of sea turtles. CRC Press. Boca Ratón, Fl. USA. pp
- Palmatier, R. 1993. *Lepidochelys kempii* (Kemp's ridley). Nesting. Herpetological Review 24:149-150

- Pieau, C. y M. Dorizzi. 1981. Determination of temperature sensitive stages for sexual differentiation of the gonads in embryos of the turtle *Emys orbicularis* (Emydidae). J. Exp. Zool. 220:353-360.
- Pieau, C., M. Girondot, G. Desvages, M. Dorizzi, N. Richard-Mercier y P. Zaboski. 1995. Temperature variation and sex determination in reptilia. Experimental Medicine 13: 516-523
- Plotkin, P. T., D. Wm. Owens, R. A. Byles y R. Patterson. 1996. Departure of male olive ridley turtles (*Lepidochelys olivacea*) from a nearshore breeding group. Herpetologica 52(1):1-7
- Pritchard, P.C.H. 1969. Studies of the systematics and reproductive cycles of the genus *Lepidochelys*. Ph.D. dissertation, University of Florida. 196 pp
- Pritchard, P. C. H., P. Bacon, F. Berry, A. Carr, J. Fletemeyer, R. Gallagher, S. Hopkins, R. Lankford, R. Márquez, L. Ogren, W. Pringle, H. Reichart y R. Witham. 1983. Manual of sea turtle research and conservation techniques. Center of Environmental Education. Washington D. C. 2<sup>a</sup>. Ed. 108 p.
- Pritchard, P. C. H. y D. F. Gicca. 1980. Report on United States/Mexico Conservation of Kemp's Ridley sea turtle at Rancho Nuevo, Tamaulipas, México 1978. Final Report on U.S. Fish and Wildlife Service Contract No. 14-16-022-78-055. 1979, 72 pp.
- Pritchard, P. C. H. y R. Márquez. 1973. Kemp's ridley or the Atlantic ridley *Lepidochelys kempi*. IUCN Monogr. (Marine turtles serie) 2 30
- Reynolds, D. P. y S. S. Sadove. 2000. Size class of sea turtles in New York from 1986 to 1996. 18<sup>th</sup> International Sea Turtle Symposium. US Dep. Commer. NOAA Tech Mem NMFS-SEFSC-436. US. Dept. of Commerce. NOAA y NMFS. p.152
- Rostal, D. 1991. The reproductive behavior and physiology of the Kemp's ridley sea turtle, *Lepidochelys kempi* (Garman, 1880) Ph.D. Dissertation. Texas A&M Univ. 138pp
- Rostal, D. C., J. S. Grumbles, R. A. Byles, R. Márquez-M y D. Wm. Owens. 1997. Nesting physiology of Kemp's ridley sea turtles, *Lepidochelys kempi*, at Rancho Nuevo, Tamaulipas, Mexico, with observations on population estimates. Chelonian Conservation and Biology 2(4): 538-547
- Rostal, D. J., J. Grumbles y D. Owens. 1992. Physiological evidence of higher fecundity in wild Kemp's ridley: implication to population estimates. In: M. Salmon y J. Wyneken (compilers) Proc. of the Eleventh Annual Workshop on Sea Turtle Biology and Conservation. NOAA Tech Mem NMFS-SEFSC-302 p. 80
- Rostal, D. C., Owens, D. W., Grumbles, J. S., Mac Kenzie, D.S. y M.S. Amos, Jr. 1998. Seasonal reproductive cycle of the Kemp's ridley sea turtle (*Lepidochelys kempi*). Gen. Comp. Endocrinol. 109 232-243.
- Saber, G. A. F. 1982. The estimation of animal abundance and related parameters. Charles Griffin and Company LTD. London, 654 pp
- Shaver, D. J., R. A. Byles, B. A. Schroeder, J. Peña, P. M. Burchfield, R. Márquez y H. J. Martinez. En. rev. Movements of Adult Male Kemp's Ridley Sea Turtles (*Lepidochelys kempi*) in the Gulf of Mexico Investigated by Satellite Telemetry

- Shine, R. 1999. Why is sex determined by nest temperature in many reptiles? Tree 14(5):186-189.
- Siegel, S. y N. J. Castellán. 1995. Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta, 4ª. ed. Ed. Trillas. México, D.F. 437 pp.
- Sparre, P. 1985. Introduction to tropical fish stock assessment. FAO Project Training in fish stock assessment. GCP/INT/392/DEN FAO/ Government Cooperative Programme. Manual I 100 pp.
- Spotila, J. R. y E. A. Standora. 1985. Environmental constraints on the thermal energetics of the sea turtles. Copeia (36):694-702
- StatSoft, Inc. 1995. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK, 74104-4442, (918) 749-1119, fax: (918) 749-2217, e-mail: info@statsoft.com, WEB: http://www.statsoft.com.
- Turtle Expert Working Group. 1998. An assessment of the Kemp's ridley (*Lepidochelys kempii*) and loggerhead (*Caretta caretta*) sea turtle population in the Northern Atlantic. NOAA Technical memorandum NMFS-SEFSC-409 96 pp.
- Underwood, A. J. 1997. Experiments in Ecology. Their logical design and interpretation using analysis of variance. Cambridge University Press U. Kingdom. 505 pp.
- Villanueva, A. 1977. Informe de la comisión llevada a cabo en el campamento de Rancho Nuevo. Informe interno Instituto Nacional de la Pesca, México. 25pp.
- Villanueva, A. 1974. Informe de Comisión. Campamento de Rancho Nuevo. Informe interno. Instituto Nacional de la Pesca, México 18pp.
- Villanueva, A. 1973. Informe de las actividades realizadas en el campamento de Rancho Nuevo. Informe interno Instituto Nacional de la Pesca, México. 20pp.
- Villanueva, A. y J. M. Sánchez 1975. Informe de actividades del campamento de Rancho Nuevo. Informe interno. Instituto Nacional de la Pesca, México. 15 pp.
- Wetherall, J. A. 1982. Analysis of double-tagging experiments. Fishery Bulletin. 80(4): 687-701
- Zar, J. H. 1996. Biostatistical analysis 3ª Ed Prentice Hall. USA 662 pp.
- Zar, J. H. 1974. Biostatistical analysis. Prentice Hall USA 620 pp.



**CAPITULO IV**  
**RELACION ENTRE EL AMBIENTE Y LA REPRODUCCION DE LA**  
**TORTUGA LORA.**

**CONTENIDO**

<b>RESUMEN .....</b>	<b>135</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>137</b>
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>138</b>
<b>METODOS.....</b>	<b>138</b>
<i>Curvas de respuesta.....</i>	<i>138</i>
<i>Inicio de la temporada.....</i>	<i>141</i>
<i>Distribución en el tiempo. Preferencias de los individuos.....</i>	<i>142</i>
<i>Influencia del ambiente en la distribución temporal de la anidación.....</i>	<i>142</i>
<i>Relación entre la anidación y los eventos atmosféricos de gran escala geográfica.....</i>	<i>142</i>
<i>Distribución sobre la playa de anidación.....</i>	<i>143</i>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>145</b>
<i>Curvas de respuesta.....</i>	<i>145</i>
Temperatura superficial marina.....	145
Temperatura del aire.....	147
Viento.....	150
<i>Inicio de la temporada.....</i>	<i>153</i>
Relación con la temperatura superficial marina y las condiciones meteorológicas.....	153
<i>Distribución temporal de la anidación.....</i>	<i>157</i>
Temperatura superficial marina.....	157
Formación de arribazones. Preferencia individual.....	161
Formación de arribazones. Variables meteorológicas.....	162
Las variaciones de la anidación y los eventos atmosféricos de escala global.....	165
<i>Distribución espacial.....</i>	<i>168</i>
Distribución de los individuos.....	168
Relación entre la ubicación de los nidos y el viento.....	174
<b>DISCUSION .....</b>	<b>179</b>
<i>Distribución en el tiempo.....</i>	<i>179</i>
Factores relacionados con la migración hacia la playa de Rancho Nuevo. Temperatura.....	179
Hipótesis acerca de la influencia de las corrientes marinas sobre la migración de las hembras entre las áreas de alimentación y desove.....	180
Llegada de las hembras a la playa. ¿Dentro de un intervalo o a lo largo de la temporada?.....	181
Variables relacionadas con el inicio de la temporada de anidación.....	182
Anidación. Formación de arribazones.....	182
Frecuencia de anidación dentro de las temporadas.....	184

<i>Distribución en el espacio</i> .....	186
Ubicación de la colonia.....	186
Distribución sobre la playa.....	186
Hipótesis sobre el efecto de las corrientes marinas en la migración de las hembras y las crías de la playa de anidación a las áreas de alimentación.....	187
<i>La anidación y los fenómenos atmosféricos de escala global</i> .....	188
<i>Otras relaciones</i> .....	189
<b>CONCLUSIONES</b> .....	189
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	192

## INDICE DE TABLAS

Tabla IV.1.- Características de las variables utilizadas para elaborar las curvas de respuesta. Claves: %N: proporción de nidos; NT: nidos totales; NP: promedio de nidos.....	139
Tabla IV.2.- Clasificación por la cantidad de hembras.....	140
Tabla IV.3.- Arribazones empleadas en el análisis de la distribución espacial.....	144
Tabla IV.4.- Parámetros de las curvas de respuesta a la temperatura superficial marina. La segunda columna hace referencia a los datos utilizados. En el total se engloban todos los registros, mientras que en 1 y 2 los correspondientes a las dos modas. NT: nidos totales. %N: proporción de nidos; NP: nidos promedio.....	146
Tabla IV.5.- Parámetros de las curvas de respuesta estimadas con la temperatura del aire de Rancho Nuevo.....	148
Tabla IV.6.- Parámetros de la Prueba Jonckheere-Terpstra aplicada a los datos de Rancho Nuevo. Sólo se analizaron los días con tortugas. Se incluye la mediana registrada cuando se presentaron diferentes cantidades de hembras en las últimas tres columnas.....	148
Tabla IV.7.- Parámetros de las curvas de respuesta estimadas con la temperatura del aire de Soto la Marina obtenidos para las temporadas 1979-1998, con la excepción del tercer renglón que correspondió a algunos días del periodo 1981-1985.....	149
Tabla IV.8.- Parámetros de la prueba de Jonckheere-Terpstra aplicada a los datos de Soto la Marina. Sólo se analizaron los días en los que se presentaron tortugas. Se incluye la mediana registrada cuando se presentaron diferentes cantidades de hembras en las últimas cinco columnas.....	149
Tabla IV.9.- Parámetros descriptivos de las curvas de tolerancia obtenidos con los componentes del viento. La dirección se expresó como un ángulo creciente en el sentido de las manecillas del reloj.....	151
Tabla IV.10.- Percentiles y mediana de los componentes del viento de los días en que se presentaron diferentes cantidades de hembras. Se presenta la mediana porque es utilizada en la prueba Jonckheere-Terpstra.....	151
Tabla IV.11.- Análisis de varianza aplicados para detectar variaciones dentro de los intervalos CA <sub>n</sub> . Se eliminaron los registros de viento de 1980, 1982 y 1989 porque las condiciones fueron significativamente diferentes.....	155
Tabla IV.12.- Parámetros descriptivos de los componentes del viento en los cinco días previos a la ocurrencia de la primera arribazón, la cual se presentó en el día 0. N=18.....	156
Tabla IV.13.- Coeficientes obtenidos al correlacionar el porcentaje de la anidación con 3 variables ligadas con la temperatura y 4 asociadas al viento Intervalo 1978-1998. se excluyeron 1982 y 1993 porque la primera arribazón se presentó en mayo. Los números en negritas fueron significativos al 95% de confianza.....	157
Tabla IV.14.- Parámetros de las regresiones elaboradas con la tasa de calentamiento (°C) de los paralelos 21-27 °N de 1989 a 1993 con el número de nidos registrados entre abril y julio. Claves: b: ordenada al origen; m: pendiente; P: significancia. N=5.....	159
Tabla IV.15.- Correlación entre las diferencias entre los meses consecutivos y la anidación mensual. Los números incluidos en las diferencias representan a los meses (2: febrero, 3: marzo, etc.).....	160
Tabla IV.16.- Hembras que intentaron anidar en una arribazón y que ovipositaron en solitario. Se muestra la marca metálica portada durante la anidación y los intentos, así como la secuencia de marcas registradas en el periodo de estudio (la primera es la más reciente).....	162
Tabla IV.17.- Coeficientes de correlación obtenidos entre las anomalías térmicas y la anidación mensual. Resultados con y sin los datos de 1998. Los coeficientes en negritas fueron significativos al 95% de confianza.....	163
Tabla IV.18.- Coeficientes de correlación obtenidos entre las anomalías térmicas y el número de arribazones presentes en los meses que encabezan las columnas. Los coeficientes en negritas fueron significativos al 95% de confianza.....	163

Tabla IV.19.-Periodos (en días) de las frecuencias predominantes en los espectros de las series de tiempo de las características meteorológicas y los nidos. Series de tiempo del Grupo II de acuerdo con la clasificación incluida en la Tabla IV.2 del Capítulo II.....	163
Tabla IV.20.- Parámetros de las regresiones simples obtenidas entre la anidación y las variables ambientales. Claves: $r^2$ = coeficiente de determinación; $r^{2aj}$ = coeficiente de determinación ajustado, $p$ =confianza (%), $m$ : pendiente, $b$ = ordenada al origen.....	166
Tabla IV.21.- Parámetros de las regresiones simples obtenidas entre la variación de la anidación y el valor del índice MEI promediado en intervalos estacionales. Las claves se incluyen en la tabla IV.21.....	167
Tabla IV.22.- Valores extremos de los parámetros estadísticos descriptivos calculados con los datos de 132 hembras. Los mínimos y máximos de cada parámetro no corresponden al mismo individuo.....	168
Tabla IV.23.- Ubicaciones anómalas detectadas en las observaciones de 120 hembras. La probabilidad de que la proporción de anomalías positivas y negativas no sean diferentes, esta incluida en la tercera columna.....	169
Tabla IV.24.- Características de las ubicaciones de las hembras con distribución no normal ( $H_0$ ). El valor de las anomalías esta en relación con su ubicación media. Algunos individuos fueron marcados con grapa metálica varias veces en el transcurso de las temporadas por lo que se muestra la secuencia.....	171
Tabla IV.25.- Anomalías de las hembras con distribución no normal.....	171
Tabla IV.26.- Hembras cuya distribución de frecuencias no fue normal ( $H_0$ ). La mayoría fueron etiquetadas más de una vez con la marca metálica. Se destacan en negritas las anomalías extremas.....	172
Tabla IV.27.- Número de hembras detectadas al Norte y Sur del Campamento de Rancho Nuevo (+ 10 km) en 152 arribazones ocurridas entre 1982 y 1998. Bajo las denominaciones "N" y "SE" se incluye una amplia gama de direcciones (ver texto).....	174
Tabla IV.28 - Distribución de las tortugas con vientos del Norte.....	176
Tabla IV.29 - Distribución de las tortugas con vientos del Sureste.....	176
Tabla IV.30.- Anidación depositada en el Sur y Norte de la playa con vientos asociados al N y SE.....	177
Tabla IV.31.- Anidación (%) depositada al Sur de Rancho Nuevo con vientos dominantes del N y SE.....	177
Tabla IV.32.- Parámetros de las regresiones múltiples elaboradas con la abundancia de los nidos depositados al Sur de RN, el número total de nidos, los días sin viento y con dominancia de vientos del SE y del Norte. Se muestran las variables con resultados significativos en el análisis por pasos.....	178
Tabla IV.33.- Algunas características de las corrientes costeras de Texas y Tamaulipas.....	181

## INDICE DE FIGURAS

Fig. IV.1.- Curvas de respuesta. A) Anidación mensual del período 1989-1993 (Frec Obs). B) Frecuencias estimadas (Frec. Est.) de la anidación promedio mensual. C) Anidación semanal del lapso 1996-1998. D) Frecuencias promedio estimadas. ....	145
Fig. IV.2.- Curva de respuesta de las diferencias en la temperatura superficial marina semanal y la anidación, expresada en porcentaje. El coeficiente de correlación obtenido entre los valores observados y calculados fue significativo ( $r=0.98$ ; $p<0.01$ ). ....	147
Fig. IV.3.- Curvas de respuesta obtenidas con la temperatura promedio diaria. Sólo se muestran los valores calculados. SM: S. la Marina del período 1978-1998; SMA: S. la Marina de 1981-1985; R. Nuevo 1981-1985. ....	150
Fig. IV.4.- Variaciones en la velocidad y dirección del viento con diferentes cantidades de hembras. Los ejes de la elipse son proporcionales a la desviación estándar de los componentes X y Y. ....	152
Fig. IV.5.- Fechas de la ocurrencia de la(s) primera(s) tortuga(s) sobre la playa y de la primera arribazón. El origen del eje de las ordenadas se refiere al 1 de abril. Los valores negativos corresponden a marzo. Las líneas punteadas destacan las fechas promedio. Los rótulos señalan los años en los que se adelantaron o retrasaron los animales. ....	153
Fig. IV.6.- Variación semanal de la temperatura superficial marina y de la anidación. El desove se inició después de un incremento térmico brusco o cuando se rebasaron los 23°C. La primera semana corresponde a la primera semana de abril. ....	154
Fig. IV.7.- Relación entre la ocurrencia de la(s) primera(s) hembra(s) sobre la playa y el intervalo entre este y la primera arribazón. Los datos entre 1 y -1 pueden considerarse como normales. ....	155
Fig. IV.8.- Variaciones de los componentes del viento en los 5 días anteriores a la primera arribazón (día 0). Los ejes de las elipses son indicadores de las desviaciones estándar de ambos componentes. ....	156
Fig. IV.9.- Relación entre la anidación de abril y la temperatura promedio de cada paralelo entre enero y abril. Intervalo 1989-1993. ....	158
Fig. IV.10.- Variaciones de la anidación semanal (A) y de las diferencias semanales de la TSM del área de anidación (B). Los cambios de temperatura más grandes se presentaron en mayo. ....	161
Fig. IV.11.- Porcentaje de las observaciones de 132 hembras que fueron registradas en arribazón. ....	162
Fig. IV.12.- Espectros de la frecuencia de anidación (1), temperatura del aire, dirección del viento (3) y velocidad del viento (4) estimados con los datos diarios de 1979 a 1996 y tomados en Soto la Marina. La línea vertical en el espectro indica los límites del 95% de confianza. ....	164
Fig. IV.13.- Coherencia entre pares de evaluaciones espectrales. 1-2 frecuencia de anidación (FD) - temperatura; 1-3 FD-velocidad de viento; 1-4 FD-dirección de viento. La línea horizontal punteada muestra el límite superior del intervalo de confianza (95%) de la coherencia. ....	165
Fig. IV.14.- Variación anual de la diferencia de nidos (AN) en la zona de Rancho Nuevo las anomalías térmicas (AT) y la precipitación pluvial total (PPT) del invierno (1) y la primavera (2) en la zona de anidación. ....	166
Fig. IV.15.- Variaciones de la distribución espacial de 132 hembras observadas entre 1988 y 1995. Cada hembra es representada por una caja. ....	170
Fig. IV.16.- Distribución de frecuencias de las anomalías extremas $A_e$ que presentaron las hembras en relación con sus propios nidos (A) y con la población (B). El punto medio de los intervalos de frecuencia esta en el eje de las abscisas. ....	173
Fig. IV.17.- Relación entre la proporción de las $A_e$ correspondientes a la distribución de los individuos y el porcentaje de las anomalías sobre la distribución de la población ( $p>0.05$ ). ....	174
Fig. IV.18.- Distribución espacial de las tortugas sobre la playa en el intervalo +10 km. Rancho Nuevo es el origen (0). La longitud y el grosor de la punta de la flecha son proporcionales a la velocidad y apunta hacia donde se dirige el viento. ....	175

**Fig. IV.19.- Variaciones de la distribución de los nidos y de la dirección del viento dominante durante las arribazones. A) Proporción de la anidación depositada en el Norte y Sur de Rancho Nuevo y abundancia de los nidos. B) Viento dominante en las arribadas. Los datos se expresaron en porcentaje para amortiguar las diferencias en el número de arribazones entre las temporadas. .... 178**

## RESUMEN

*Las características de la distribución de las hembras sobre la playa mostraron que la conducta de estos organismos es estereotipada. En el Capítulo III se concluyó que los cambios más evidentes de la distribución sobre la playa estuvieron determinados por la abundancia, no obstante, las particularidades de cada temporada sugieren que el ambiente altera esos patrones.*

*La forma de campana de las curvas que relacionan la abundancia de las hembras sobre la playa con los gradientes de la temperatura superficial marina, la temperatura del aire, la dirección y la velocidad del viento, indica que estas variables presentan un intervalo favorable a la anidación. La temperatura y el viento fueron significativamente distintos cuando se presentaron las arribazones.*

*En este trabajo se planteó la hipótesis de que una elevada proporción de las hembras llegaron a la playa de anidación dentro de un periodo de tiempo, que podría extenderse entre los últimos días de febrero y los primeros días de mayo. Esta propuesta fue sustentada en los siguientes argumentos:*

*1.- La circulación invernal sobre la plataforma de Tamaulipas podría contribuir al ahorro de energía en las hembras que migran desde las áreas de alimentación del Norte del Golfo de México. 2.- La dirección dominante de las corrientes invernales se invirtió en las últimas semanas de mayo, lo cual coincidió con el final del periodo en el que las hembras depositaron el primer nido. 3.- Las características térmicas de los corredores migratorios estuvieron correlacionadas con la presencia de las hembras sobre la playa. 4.- Las variaciones de los intervalos entre las anidaciones consecutivas de un individuo dentro de las temporadas.*

*Los estudios sobre la fisiología reproductiva en organismos en cautiverio, el seguimiento por telemetría de una hembra durante la migración y los reportes de varamientos de tortugas en la playa apoyan esta hipótesis. Sin embargo, también es probable que algunas hembras lleguen cuando la dirección de la corriente es hacia el Norte, a pesar del mayor gasto de energía que implicaría nadar contra corriente.*

*Los resultados sugieren que la temperatura y el desove están relacionados positivamente; sin embargo, es probable que un pequeño porcentaje de la población haya anidado con relativa independencia de esta variable, puesto que aunque la primera arribazón se presentó alrededor del 22 de abril ( $\pm$  6 días), algunas hembras desovaron desde la última semana de marzo.*

*Los mecanismos que detonaron la primera arribazón posiblemente sean una combinación de factores biológicos y ambientales. Dentro de los primeros, diversos autores han sugerido que la comunicación entre las tortugas se efectúa a través de sustancias proteicas, mientras que dentro de los segundos se ha sugerido que hay variaciones en el viento antes de la primera arribazón. Los resultados de este trabajo muestran que en el día inmediato anterior cambiaron significativamente los componentes X (Este-Oeste) y Y (Norte-Sur) del viento. También es plausible que la temperatura superficial marina alcance un valor umbral (cerca de los 23°C) o que se presente un incremento abrupto.*

*El seguimiento de 132 hembras mostró que la mayoría anido en las arribazones y que las anidaciones en solitario fueron eventos al azar. En algunos casos éstas últimas fueron la culminación de una serie de intentos iniciados en alguna arribazón.*

*Los espectros de la anidación, la temperatura del aire y los componentes del viento mostraron frecuencias con periodos entre 3 y 26 días, asociados con el paso de eventos meteorológicos de escala sinóptica.*

*Los análisis de coherencia realizados entre los espectros de la anidación, la temperatura del aire y el viento, mostraron que algunos periodos coincidieron en las tres variables, lo que permite suponer que esas oscilaciones contribuyen a sincronizar los relojes internos de las tortugas, aún en el caso de que se alejen de la zona de anidación entre desoves consecutivos, ya que se han descritos ciclos de la temperatura y el viento similares en otras localidades del Golfo de México.*

*Es probable que las tortugas perciban los cambios en el ambiente a través de las variaciones en las corrientes y la temperatura superficiales, así como en la intensidad luminosa.*

*Las variaciones de la abundancia entre temporadas fueron asociadas con los eventos climáticos de escala global. El ENSO aparentemente influye positivamente en la anidación casi un año después de su ocurrencia, mientras que las correlaciones con el Patrón Pacífico-Norteamérica y la Oscilación del Atlántico Norte no fueron significativas.*

*El efecto del ENSO en el Norte y Noroeste del Golfo fue menor en la década de los 90's que en los 80's y fue amortiguado por la fase positiva de la Oscilación del Atlántico Norte, por lo que no puede descartarse que el efecto de estos eventos en el hábitat afecten a los organismos durante las diferentes etapas del ciclo de vida.*

*El análisis de las variaciones de la distribución de 132 tortugas dentro y entre las temporadas, sugirió que cada hembra anida sobre un área determinada, variable entre 2 y 34 km. La distribución de aproximadamente el 15% de las tortugas difirió del resto de la población, mientras que el 30% definió el patrón de distribución general.*

*La anidación siempre fue más abundante al Norte del campamento de Rancho Nuevo. A través de las temporadas los cambios más evidentes se relacionaron con el incremento de los nidos en el Sur, y estuvieron determinados por la abundancia de la población anidadora y la ocurrencia de eventos extraordinarios, como los huracanes.*

*En contraste, las variaciones dentro de las temporadas fueron influidas en mayor medida por la dirección que por la velocidad del viento. El viento del Norte favoreció el incremento de los nidos al Sur de la zona, mientras que ocurrió lo contrario cuando fluyó del SE.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## INTRODUCCION

En los dos primeros capítulos se describieron algunas de las particularidades de la dinámica marina, climática y meteorológica de la región que podrían influir en la distribución y abundancia de la población anidadora<sup>1</sup>.

En el tercer capítulo se describieron las variaciones en la distribución temporal y espacial de las hembras de tortuga lora en el intervalo 1978-1998, en el inicio y la duración de la temporada de anidación, la posible secuencia con la que desovaron los organismos y la longitud de los intervalos entre anidaciones consecutivas, dentro y entre las temporadas. Asimismo se discutió la posibilidad de que las variaciones en la sincronía de algunos patrones de comportamiento, tales como la formación de arribazones, pudieran ser consecuencia de los cambios en la abundancia y de las características de los individuos. También se propuso la hipótesis de que otras variables contribuyen a regular esos patrones, ya que aún en años con abundancia similar, la magnitud y el sentido de los cambios en la distribución espacial fueron diferentes.

En los tres capítulos previos se mostró que tanto los eventos biológicos, como los meteorológicos y oceanográficos presentaron oscilaciones que coincidieron en algunas frecuencias, lo que sugirió que la distribución espacial y temporal estuvo vinculada con las variaciones del medio, particularmente con el viento y la temperatura como lo habían propuesto algunos autores (Pritchard, 1969; Villanueva, 1974, 1977; Casas-Andreu, 1978).

En este capítulo se analizan las relaciones de las variables ambientales con la distribución temporal de la anidación mediante tres estrategias. La primera fue elaborar las curvas de respuesta ante un gradiente ambiental.

De acuerdo con la Ley de Tolerancia de Shelford (Odum, 1971), la condición y abundancia de los organismos son una respuesta a las características de su hábitat, la cual puede ser representada por una curva de Gauss, cuyo eje de las abscisas representa el gradiente ambiental y el de las ordenadas, la respuesta de un individuo o una población (González-Sansón, 1994). La media, el punto central de la campana, corresponde al valor óptimo de respuesta y el doble de la desviación estándar, a los límites de tolerancia.

En este trabajo se asumió que la Ley de Tolerancia es aplicable a una situación particular del ciclo de vida; sobre esta base, la anidación fue asociada con el viento y la temperatura de acuerdo a lo observado por diversos autores (Villanueva y Sánchez, 1975; Villanueva, 1977; Pritchard y Gicca, 1980; Márquez, 1994).

La segunda estrategia fue aplicar correlaciones simples y cruzadas entre las variables biológicas y ambientales a diferentes escalas espaciales y temporales sobre la hipótesis de que el medio influyó en la abundancia de la población anidadora y contribuyó a regular la distribución temporal de las hembras sobre la playa. En este caso se asumió que la relación fue lineal y no se consideraron las variaciones cíclicas, por lo cual, la tercer estrategia fue correlacionar los espectros resultantes del análisis de series de tiempo para determinar la sincronía de esas variaciones.

Cabe mencionar que una de las particularidades de los quelonios es la precisión con la que llegan a la misma playa en cada una de sus temporadas de reproducción (filopatría), por lo que la mayoría

<sup>1</sup> En este texto a las hembras se les denominará arbitrariamente como la "población anidadora".

de las hembras desovaron sobre un área que se mantuvo aproximadamente constante a lo largo de las temporadas, aunque en algunos casos mediaron hasta 50 km entre nidos consecutivos. Los cambios, particularmente el incremento paulatino de la anidación hacia el Sur, fueron asociados con la abundancia, mientras que la variabilidad diaria con el efecto del ambiente.

### ANTECEDENTES

En los antecedentes de los tres capítulos previos se han descrito algunos de los efectos del ambiente en las tortugas. En esta sección se hará un resumen de la literatura que relaciona la fisiología reproductiva y las características del medio.

La reproducción en los reptiles usualmente es estacional porque las condiciones del medio que influyen en la sobrevivencia de la descendencia varían con regularidad. En consecuencia, las señales ambientales ligadas con esas condiciones frecuentemente son utilizadas como elemento de predicción por los individuos (Whittier y Tokarz, 1992). Las actividades reproductivas que se desarrollan cuando el medio es adecuado se denominan como "asociadas".

En las tortugas marinas el comportamiento sexual femenino y masculino corresponde a este tipo, ya que la gametogénesis se desarrolla durante el otoño e invierno, mientras que la fecundación y el desove durante la primavera, poco antes de que existan condiciones favorables para la incubación (Rostal *et al.*, 1998).

Diversos autores indican que la temperatura, la humedad y el fotoperiodo contribuyen a regular la reproducción de los reptiles, aunque los mecanismos involucrados no son bien entendidos (Moll, 1979). La temperatura ha sido mencionada como la variable proximal más importante, particularmente en ambientes tropicales en donde los cambios en la longitud del día son inapreciables. En las serpientes, la temperatura puede detonar la vitelogénesis, aún cuando las concentraciones de los esteroides sexuales sean bajas y los ovarios estén en estado regresivo.

En *L. kempi* y otras especies de tortugas marinas, los ciclos de secreción de testosterona y estrógenos de los individuos maduros se han relacionado con la temperatura (Licht, 1984; Owens y Morris, 1985; Whittier y Crews, 1987; Sarkar *et al.*, 1996; Owens, 1997; Rostal *et al.*, 1998). Estas hormonas también han sido asociadas con el inicio del desplazamiento de los individuos de *C. caretta* desde las zonas de alimentación (Owens, 1997). Por otro lado, el viento se ha vinculado con la reproducción de las especies pequeñas, como la tortuga lora y la Carey, ya que amortigua el calentamiento durante el desove sobre la playa (Spotila y Standora, 1985).

### MÉTODOS

#### *Curvas de respuesta.*

La temperatura superficial marina mensual (TSMm) fue obtenida a partir de los promedios de dos transectos de 126 km (16 pixeles) de longitud, trazados sobre los paralelos 23 y 24°N, mientras que la temperatura semanal (TSMs) fue la media de la región comprendida entre la costa y el borde de la plataforma continental entre esos paralelos.

Las variables ambientales utilizadas fueron la temperatura y el viento en escalas mensual, semanal y diaria. Las características de la información utilizada se presenta en la Tabla IV.1.

Los datos meteorológicos se registraron en Soto la Marina y Rancho Nuevo. Las curvas de respuesta a la temperatura se elaboraron con las temperaturas media, mínima y máxima. También se utilizaron las diferencias de la temperatura entre los días consecutivos y la oscilación térmica diaria ( $T_{max}-T_{min}$ ) para relacionar esos cambios con la anidación.

Las curvas de respuesta al viento se calcularon con la información de dos periodos (Tabla IV.1) porque no hubo mediciones en 1987 y 1988.

**Tabla IV.1.- Características de las variables utilizadas para elaborar las curvas de respuesta. Claves: %N: proporción de nidos; NT: nidos totales; NP: promedio de nidos.**

Lugar	Escala	Años	Variables ambientales	Variables biológicas
Paralelos 23-24 °N.	mensual	1989-1993	T. sup. marina	%N, NT, NP
Paralelos 23-24 °N entre la costa y el borde de la plataforma continental	semanal	1996-1998	T. sup. marina Dif. entre semanas consecutivas.	%N, NT
Rancho Nuevo (RN)	diaria	1981-1985	T. media Diferencia entre días consecutivos ( $\Delta T_d$ ) T. mínima T. máxima Oscilación térmica diaria	%N
Soto la Marina (SM)	diaria	1979-1998	T. media Diferencia entre días consecutivos ( $\Delta T_d$ ) T. mínima T. máxima Oscilación térmica diaria	%N
Soto la Marina (SM)	diaria	1979-1986 1989-1998	Viento Dirección Velocidad Componente X Componente Y	%N
Comparación entre RN y SM	diaria	1981-1985	T. media	NT

Los indicadores biológicos utilizados fueron el total (NT), la proporción (%N) y el promedio de los nidos (NP), aunque sólo en la curva estimada con la TSMm se utilizaron los tres. El porcentaje (%N) se utilizó para evitar el sesgo de los datos por la presencia de arrabazones y por las temporadas en las que la anidación fue muy abundante, como ocurrió en 1998; en este caso, primero se calculó el porcentaje de la anidación de cada intervalo (día, semana, mes) en cada una de las temporadas y posteriormente se estimó el promedio general. El NT se empleó en las temporadas en las que las diferencias en la anidación fueron relativamente pequeñas, como fue el caso del periodo 1996-1998.

El ajuste de los datos observados a la curva normal se hizo con la media, la desviación estándar y la sumatoria de las frecuencias de acuerdo con la función:

$$f(x_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \text{EXP} \left( -\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2} \right) \quad (\text{IV.1})$$

Donde:

$x_i$ : valor observado  
 $\mu$ : media  
 $\sigma$ : desviación estándar.

Este proceso fue optimizado, minimizando la sumatoria de los cuadrados de los residuales con el método no lineal GRG2 de Lasdon y Warren (1986). La similitud entre las frecuencias observadas y las estimadas fue evaluada con el modelo de correlación de Pearson al 95 % de confianza. El intervalo de la media  $\pm$  la primera desviación estándar, fue considerado como el valor óptimo de respuesta, de acuerdo a la nomenclatura utilizada por Odum (1971).

Para apoyar los resultados obtenidos con las curvas de respuesta se aplicó la prueba no-paramétrica de Jonckheere-Terpstra (J-T), descrita por Siegel y Castellan (1995), para contrastar las condiciones de la temperatura y el viento en los días en los que se presentaron diferentes cantidades de hembras, clasificadas de acuerdo con la Tabla IV.2

Tabla IV.2.- Clasificación por la cantidad de hembras.

Clase	Tortugas (no.)
0	0
10	1-10
50	11-50
100	51-100
150	>101

Sin embargo, puesto que los registros meteorológicos de Rancho Nuevo correspondieron al período en el que decreció la abundancia de la población (1981-1985) fue necesario evaluar la representatividad de las curvas de respuesta generadas a partir de esta información. Con este objetivo se contrastaron las curvas obtenidas con los registros de temperatura de Soto la Marina de los periodos 1981-1985 y 1978-1998, puesto que la descripción de las características ambientales mostró que, a pesar de las diferencias microclimáticas, la tendencia de las variables fue similar en las dos localidades (Capítulo II).

Las curvas de respuesta al viento se elaboraron con la velocidad y con la dirección (expresada en grados) y a partir los componentes X y Y de un vector:

$$\begin{aligned} X &= v (\text{sen}\theta) \\ Y &= v (\text{cos}\theta) \end{aligned} \quad (\text{IV.2})$$

Donde:

$v$ : velocidad (m /seg).  
 $\theta$ : dirección angular (radianes).

La dirección angular fue medida a partir del Norte, en el sentido de las manecillas del reloj. Por otra parte, la precipitación no fue utilizada, ya que de acuerdo con los análisis espectrales su variabilidad fue aleatoria y su distribución espacial, puntual.

### *Inicio de la temporada*

Los factores que contribuyeron a iniciar la temporada de anidación no son conocidos, sin embargo, es factible suponer que esto ocurre cuando las condiciones son propicias para la estancia de las hembras sobre la playa y la sobrevivencia de los huevos. Por lo tanto, el análisis partió del supuesto de que las corrientes marinas, la temperatura superficial marina, la temperatura del aire y el viento podrían ser las variables más importantes en este proceso.

La primera arribazón fue considerada arbitrariamente como el evento que da inicio a la temporada de anidación, de acuerdo con el criterio establecido en el Capítulo III. Para describir sus variaciones, se calcularon las anomalías estandarizadas de la fecha en que se presentó esta arribazón, considerando como origen al primero de abril. La fecha en la que aparecieron las primeras hembras sobre la playa fue transformada de la misma manera; sin embargo, esta variable sólo se utilizó como referencia porque en algunas temporadas, hubo algunos desoves antes de que se instalara el campamento, sin embargo, de acuerdo con la información de los lugareños no se presentaron arribazones (Márquez, com pers.).

La formulación de las hipótesis sobre la influencia de las corrientes, de la temperatura superficial marina y de las condiciones meteorológicas en la anidación se hizo de acuerdo a dos estrategias:

1.-Relacionar la temperatura superficial marina semanal (TSMs) y la distribución temporal de las hembras. Puesto que la información de las TSMs sólo fue de tres temporadas, sólo se establecieron relaciones visuales entre la distribución semanal de la anidación y la variación de la temperatura superficial marina semanal de la plataforma continental comprendida entre los paralelos 23 y 24°N.

2.-Relacionar cuantitativamente la ocurrencia de la primera arribazón y las condiciones meteorológicas de Soto la Marina. Esta información sólo se utilizó para formular hipótesis, por las diferencias entre los registros de Soto la Marina y Rancho Nuevo.

Las anomalías de la primera arribazón y de los primeros nidos fueron correlacionadas con el modelo de Pearson, al 95% de confianza, con las anomalías térmicas de abril y con la tasa a la cual ascendió diariamente la temperatura durante ese mes (TCA), así como con la proporción de la anidación que se presentó en abril. Las dos primeras variables fueron utilizadas como indicadores de las condiciones meteorológicas de acuerdo con los resultados obtenidos en el Capítulo II. La tasa a la que ascendió la temperatura fue estimada a partir de la pendiente de una ecuación de regresión simple, porque la tendencia de la variable fue lineal entre febrero y junio.

La influencia de los eventos de corto plazo en la ocurrencia de la primera arribazón fue estimada a través del análisis de las condiciones ambientales en los 5 días previos y el día de la arribazón (CA<sub>n</sub>). La hipótesis sobre la que se basó este análisis fue que la anidación responde a cambios regulares en el ambiente. Por otra parte, ya que los registros de Rancho Nuevo fueron insuficientes se trabajó con los de Soto la Marina.

Las variables utilizadas fueron las temperaturas media, máxima y mínima, así como la magnitud de sus cambios entre días consecutivos (AT<sub>d</sub>) y la oscilación térmica diaria. La dirección y la velocidad del viento también fueron analizadas, así como sus componentes vectoriales X y Y, asociados con los ejes Oeste-Este y Norte-Sur, respectivamente.

Cada variable fue sometida a ANDEVA's de una vía para evaluar la magnitud de sus variaciones en el lapso CA<sub>n</sub> a lo largo de los años. Sólo fueron utilizadas aquellas que presentaron menos del

25% de temporadas significativamente diferentes, las cuales se identificaron con un Análisis de Comparaciones Múltiples de Duncan y eliminadas.

Estos métodos también se aplicaron para determinar la existencia de diferencias entre los seis días del intervalo CA<sub>6</sub>, sobre el supuesto de que las condiciones diarias eran independientes entre sí. Posteriormente, se correlacionaron las anomalías de la primera arribazón con los registros meteorológicos de cada uno de los días de ese lapso.

#### *Distribución en el tiempo. Preferencias de los individuos.*

La preferencia por anidar en grupo o en solitario fue inferida de 132 hembras marcadas con grapas metálicas de acero monel y con marcas internas tipo PIT entre 1988 y 1995. Las primeras se colocaron en la aleta frontal izquierda (Pritchard *et al.*, 1983; Márquez *et al.*, 1990), mientras que los PIT se insertaron intramuscularmente en la aleta derecha (Jiménez y Márquez, 2002) como se describió en el Capítulo III.

En el periodo de estudio se marcaron y recuperaron 2379 hembras en el área de Rancho Nuevo, de las cuales se separó una primera muestra de 1240 tortugas, detectadas al menos dos veces. El grupo final de 132 tortugas fue seleccionado porque cada una fue observada un mínimo de siete ocasiones y alguna de sus marcas fue identificada sin duda alguna.

La muestra es representativa de las preferencias de la población nidadora porque en ese lapso la proporción de hembras observadas sobre la playa varió entre el 60 y 80% del total de la anidación. Aunado a lo anterior, puesto que la frecuencia de anidación para cada hembra se ha estimado entre 1.73 y 3.07 nidos por temporada (Márquez, 1994; Rostal *et al.*, 1997), es posible suponer que la probabilidad de observar a una tortuga varió entre 0.7 y 1, dependiendo de la frecuencia utilizada (Jiménez y Márquez, 2000).

#### *Influencia del ambiente en la distribución temporal de la anidación.*

En el Capítulo III se describió la periodicidad con la que se presentaron las hembras sobre la playa con el método espectral de series de tiempo, descrito en el Capítulo II, aplicado a los registros de la anidación de cada temporada. En este Capítulo también se utilizaron los registros diarios de temperatura, viento y precipitación del observatorio de Soto la Marina (series tipo II). Los datos abarcaron del 1 de marzo al 31 de agosto del intervalo 1979- 1996, por lo que se utilizaron 153 valores para cada año y 2754 para los 18 años. Para evaluar la relación entre las series de tiempo de la anidación y las variables ambientales se utilizaron las funciones de coherencia y de diferencia de fase de acuerdo a lo establecido en las fórmulas B.5 y B.6 del Apéndice B.

#### *Relación entre la anidación y los eventos atmosféricos de gran escala geográfica.*

Las variables biológicas utilizadas fueron la diferencia en la cantidad de nidos totales entre dos temporadas ( $AN_{t,t+1}$ ), de acuerdo a lo establecido en el Capítulo III, el número de arribazones anuales y la proporción de la anidación depositada en esos eventos.

Los indicadores de las fluctuaciones ambientales fueron los promedios estacionales de cinco variables. Tres de ellas fueron los índices de eventos meteorológicos de escala global que afectan el Norte y Noroeste del Golfo de México, así como la Costa Este de Estados Unidos, ya que éstos permiten elaborar hipótesis acerca del efecto de la variabilidad climática en toda la zona de

distribución de la especie. Estos índices fueron el MEI (Índice Multivariado del ENSO), el PNA (Patrón Pacífico Norteamérica), y el NAO (Oscilación del Atlántico Norte). En esta sección el MEI sustituyó al SOI (Índice de la Oscilación del Sur), porque además de la presión atmosférica a nivel del mar, también incluye a los componentes Este-Oeste y Norte-Sur del viento, la temperatura del aire en la superficie y la nubosidad total (Wolter, 1987).

Las otras dos variables utilizadas fueron las anomalías térmicas y la precipitación total, ambas obtenidas a partir de los registros del observatorio de Soto la Marina, considerando que reflejan las condiciones de la playa de anidación.

Los datos se sometieron al análisis de regresión simple y múltiple así como de correlación cruzada. Se emplearon 3 intervalos de tiempo: 1978-1998, 1978-1997 y 1978-1996 para determinar el efecto del incremento exponencial de la anidación en 1997 y 1998.

#### *Distribución sobre la playa de anidación.*

En el Capítulo III se concluyó que la mayoría de las hembras tendía a desovar en un área determinada; sin embargo, puesto que había la posibilidad de que algunos organismos prefirieran desovar fuera de ella, se dio seguimiento a 132 hembras registradas en el área de Rancho Nuevo entre 1988 y 1995, todas fueron detectadas por lo menos en dos temporadas. El número mínimo de observaciones de cada individuo fue de 7 y el máximo de 22.

Las hembras se identificaron con las marcas metálicas (incluyendo la "vieja") y las internas. Para cada individuo se calcularon los parámetros descriptivos de la variable "estaca", la cual indica la ubicación del nido a lo largo de la playa, con el programa SPSS v. 8.0 Windows de SPSS Inc. Con el coeficiente de sesgo y el número de datos se valoró la normalidad de la distribución de las ubicaciones con la fórmula de Hair *et al.* (1995):

$$Z = S / (\sqrt{6/N}) \quad (IV.3)$$

Donde

S: Coeficiente de sesgo

N: Número de datos

Los registros fueron considerados como normales, al 95% de confianza, cuando Z se encontró en el intervalo limitado por los valores  $\pm 1.96$ . Para determinar si la normalidad dependió del tamaño de la muestra, se elaboró una correlación lineal simple entre el coeficiente Z y el número de datos.

La dispersión de la ubicación de los nidos de cada hembra fue valorada con los coeficientes de variación, los cuales cuantificaron la proporción de la media que correspondió a la desviación estándar (Daniel, 1977). Otro método utilizado, fue el cálculo de dos tipos de anomalías estandarizadas para estimar la dispersión de las ubicaciones de una hembra en un día en particular ( $A_1$ ) con respecto al resto de las veces que fue observada y en relación con la distribución de la población en esa misma fecha ( $A_2$ ). Estos valores fueron calificados como "extremos" ( $A_e$ ) cuando estuvieron fuera de la primera desviación estándar.

La proporción de anomalías  $A_1$  positivas y negativas de las hembras con distribución normal de cada temporada, se contrastaron con una prueba de t de dos colas, incluida en el módulo de estadísticas básicas del programa STATISTICA V. 4.5 para Windows.

Las anomalías extremas de las hembras cuya distribución de frecuencia no fue normal ( $H_0$ ), se eliminaron y nuevamente se calcularon los coeficientes Z. Después de la extracción de las  $A_e$ , la proporción de los registros positivos de posición se correlacionó con el porcentaje correspondiente de las hembras cuya distribución fue normal, para determinar si su tendencia era similar a lo largo de cada una de las temporadas analizadas, lo cual permitiría distinguir si las ubicaciones anómalas de los organismos en una temporada eran eventos aleatorios o su comportamiento difería del resto de la población.

En los análisis previos los resultados mostraron las variaciones en la distribución del grupo de hembras en lo general, sin embargo, para determinar las preferencias individuales se comparó la forma de la distribución de frecuencias del porcentaje de las anomalías extremas ( $A_e$ ) presentadas por cada individuo ( $A_i$ ) y por la población en un día en particular ( $A_p$ ).

La relación entre la dirección del viento y la preferencia de la población por anidar en las áreas Sur o Norte de la playa, fue analizada visualmente en una gráfica de superficie que muestra la distribución diaria entre el 10 de abril y el 30 de junio. Las interpolaciones se hicieron con el método de triangulación incluido en el programa Surfer (Win 32) v. 6.01 (Golden Software Inc, 1995). Sobre este gráfico se dibujaron los vectores que representan la dirección y la velocidad del viento. Las temporadas seleccionadas fueron 1994-1998 cuando la abundancia diaria permitió trazar este tipo de gráficas.

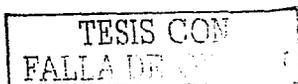
Los datos de la distribución se agruparon de acuerdo a la zona en la que anidaron las hembras (al Norte o Sur de Rancho Nuevo) en 152 arribazones que se presentaron entre 1982 y 1998 (Tabla IV.3). Las variaciones de la abundancia se analizaron en la zona Sur (kilómetros 0 a -10) mediante 9 Tablas de Contingencia evaluadas con la prueba de  $\chi^2$  y cuyos grados de libertad variaron entre 2 y 4.

Por otra parte, se utilizaron los registros con la dirección original del viento ("direcciones dominantes") y también agrupadas bajo los rubros "Norte" (N, NE, NNE, NNO, NO) y "Sureste" (E, ENE, ESE, SE y SSE). La "Calma" significa que no hubo viento.

Tabla IV.3.- Arribazones empleadas en el análisis de la distribución espacial.

Año	Arribazones (no.)	Año	Arribazones (no.)	Año	Arribazones (no.)
1982	5	1988	11	1994	11
1983	6	1989	6	1995	9
1984	5	1990	5	1996	12
1985	8	1991	6	1997	15
1986	5	1992	9	1998	19
1987	9	1993	11		

El método de correlación múltiple por pasos fue utilizado para relacionar el porcentaje de la población que anidó en el Sur entre 1982 y 1998, con la proporción de las arribazones en las que el viento fluyó con las direcciones N y SE así como con las calmas. Los resultados fueron evaluados con un ANDEVA al 95% de confianza. La influencia de las variables fue evaluada con una prueba de t-student al 95% de confianza.



## RESULTADOS

### Curvas de respuesta

#### Temperatura superficial marina.

La temperatura superficial marina promedio mensual ( $\pm 1$  desviación estándar) del intervalo 1989-1993 que coincidió con las mayores abundancias sobre la playa<sup>2</sup>, se encontró entre  $25.8 \pm 2.1$  y  $26.6 \pm 1.9$  °C (Tabla IV.4), dependiendo del indicador biológico utilizado. En los tres casos las curvas fueron unimodales (Fig. IV.1 A y B) y las correlaciones entre las frecuencias observadas y las estimadas fueron significativas ( $p \leq 0.01$ ). Los análisis de varianza y de comparaciones múltiples de Duncan, mostraron que hubo diferencias significativas entre el número de nidos obtenidos con la temperatura media y con la de los extremos del gradiente.

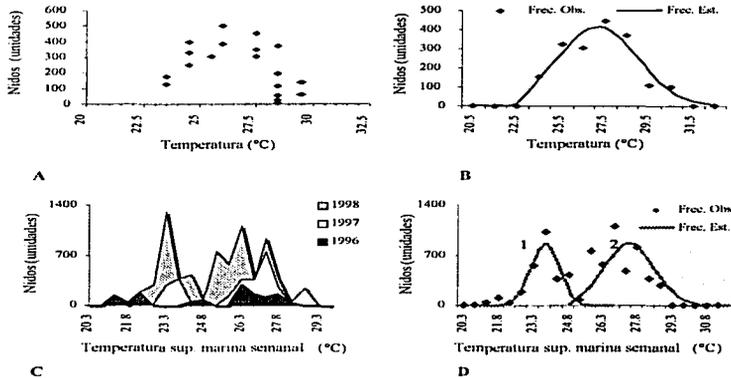


Fig. IV.1.- Curvas de respuesta. A) Anidación mensual del período 1989-1993 (Frec Obs). B) Frecuencias estimadas (Frec. Est.) de la anidación promedio mensual. C) Anidación semanal del lapso 1996-1998. D) Frecuencias promedio estimadas.

Los intervalos óptimos calculados con el total (NT) y con la abundancia promedio mensual de los nidos fueron similares, posiblemente porque el número de nidos fue semejante en la mayoría de los años del lapso analizado (902-966 nidos), con la excepción de 1990 cuando hubo casi un centenar

<sup>2</sup> El promedio obtenido del ajuste de los datos observados a la curva de Gauss podría ser considerado como el "valor óptimo de respuesta" de los organismos a una variable. En el texto será referido indistintamente como valor medio u óptimo.

menos. En contraste, la temperatura media obtenida con la proporción de los nidos fue entre 0.37 y 0.63 °C menor que la estimada con las otras dos variables biológicas, no obstante, puesto que este indicador permitió eliminar las variaciones de la abundancia entre las temporadas podría ser más cercano al valor real.

Entre 1996 y 1998, el intervalo de respuesta óptimo estimado para la temperatura superficial marina semanal con el total de nidos varió entre  $24.8 \pm 1.8$  °C y  $26.7 \pm 0.8$  °C. La media general fue de  $25.2 \pm 1.8$  °C, semejante a la estimada con la proporción de nidos en el intervalo 1989-1993.

En los tres años analizados la distribución de frecuencias de la anidación sobre el gradiente fue bimodal (Fig. IV.1 C y D), por lo que las distribuciones de cada moda fueron ajustadas a la normal con la técnica descrita en los Métodos. La temperatura correspondiente a la primera moda varió entre 21.7 y 25.5 °C (Tabla IV.4), aunque el coeficiente de correlación obtenido entre los valores observados y calculados sólo fue significativo en 1997 y 1998, cuando entre el 40 y 60% de la anidación ocurrió en las primeras 7 semanas. En contraste, en 1996 los registros que podrían formar la primera curva estuvieron dispersos y el coeficiente de correlación no fue significativo ( $r = 0.42$ ;  $p = 0.18$ ).

Tabla IV.4.- Parámetros de las curvas de respuesta a la temperatura superficial marina. La segunda columna hace referencia a los datos utilizados. En el total se engloban todos los registros, mientras que en 1 y 2 los correspondientes a las dos modas. NT: nidos totales; %N: proporción de nidos; NP: nidos promedio.

Año	Registros	Media (°C)	Desv. Est (°C)	Hem. obs.	R	P	Recorrido (°C)	Indicador biológico	Escala
1989-1993	Total	26.67	1.911	1844	0.83	0.02	22.5-29.5	NT	Mensual
	Total	26.21	1.59		0.96	<0.001	22.5-31.5	NP	Mensual
	Total	25.84	2.1		0.69	0.018	22-32	%N	Mensual
1996	Total	26.77	0.82	1231	0.64	0.002	19.5-28.25	NT	Semanal
	1	21.76	0.71	448	0.42	0.18	19.75-24.75		
	2	26.77	0.82	915	0.78	0.0005	23.75-28.75		
1997	Total	26.55	2.49	2001	0.36	0.1	21.25-29.25	NT	Semanal
	1	23.52	0.2	854	0.95	<0.001	21.25-26.25		
	2	27.22	0.62	1988	0.53	0.04	22.75-29.75		
1998	Total	24.84	1.8	4036	0.57	0.01	21.25-28.25	NT	Semanal
	1	23.09	0.31	1368	0.94	<0.001	21.25-23.		
	2	25.74	0.9	2668	0.71	0.02	23.75-28.25		
1996-1998	Total	25.2	1.83	7268	0.63	0.003	19.5-30.5	NT	Semanal
	1	23.24	0.59	2859	0.94	<0.001	20.25-25.25		
	2	26.38	1.084	4424	0.88	<0.001	24.75-28.75		
1996-1998	Total	25.19	2.6		0.82	<0.001	19.5-30.5	%N	Semanal
Diferencias entre semanas consecutivas									
1996-1998	Total	0.76	1.15	7268	0.98	<.001	-3.5-3	%N	Semanal

La segunda moda (destacada con el 2 en la columna de Registros de la tabla IV.4) se encontró entre 25.7 y 27.2 °C y los coeficientes de correlación fueron significativos ( $p < 0.02$ ) en todas las temporadas. Esas temperaturas se encontraron a partir de la séptima u octava semanas y fueron similares a las detectadas con los registros mensuales; aunque es probable que esas curvas sean el

reflejo de la formación de las arribazones (Fig. IV.1 C y D), más que una respuesta diferencial a la temperatura.

La comparación de las curvas de respuesta obtenidas con los registros mensuales y semanales, sugiere que los primeros muestran la temperatura superficial marina presente cuando la anidación fue más abundante, mientras que los segundos permiten distinguir las condiciones bajo las que se presentaron las arribazones.

La curva de respuesta elaborada con las diferencias de temperatura entre las semanas (Fig. IV.2), mostró que la mayoría de las anidaciones ocurrieron dentro del intervalo comprendido entre  $\pm 2$  °C, y que la diferencia promedio fue de  $0.76 \pm 1.15$  °C.

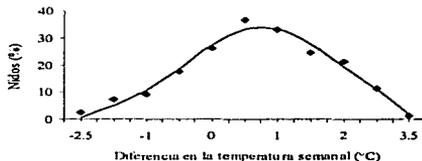


Fig. IV.2.- Curva de respuesta de las diferencias en la temperatura superficial marina semanal y la anidación, expresada en porcentaje. El coeficiente de correlación obtenido entre los valores observados y calculados fue significativo ( $r=0.98$ ;  $p<0.01$ ).

#### *Temperatura del aire*

Las curvas estimadas con las variables meteorológicas fueron elaboradas con los registros de Rancho Nuevo y los de Soto la Marina. Los primeros fueron tomados *in situ*, sin embargo, puesto que la muestra fue relativamente pequeña ( $N=275$ ) y correspondió al periodo de decremento poblacional, también se utilizaron los de Soto la Marina para comparar la dispersión de los datos así como el ajuste entre las distribuciones observadas y estimadas con la función de la curva normal, a pesar de las diferencias en la magnitud de las variables meteorológicas destacadas en el Capítulo II.

El indicador biológico utilizado fue la anidación promedio diaria (%) para identificar la temperatura coincidente con el mayor número de hembras (valor medio u óptimo) en el caso de la temperatura media diaria también se utilizó el número total de nidos.

Las temperaturas óptimas obtenidas para ambos indicadores biológicos con los registros de Rancho Nuevo, presentaron diferencias de aproximadamente 2 °C (Tabla IV.5). Cabe destacar que esos valores fueron similares a los obtenidos con la temperatura superficial marina mensual y con la segunda curva de la TSMs.

El valor medio obtenido a partir de la diferencia de temperatura entre días consecutivos ( $\Delta T_d$ ) y %N fue pequeño ( $-0.09 \pm 0.22$ ) por lo que se consideró que los cambios de temperatura entre el día inmediato anterior y el del desove tuvieron poco impacto en la conducta de las tortugas.

**Tabla IV.5.- Parámetros de las curvas de respuesta estimadas con la temperatura del aire de Rancho Nuevo.**

Variable	Media (°C)	Desv. Est. (°C)	N	r	p	Recorrido (°C)	Indicador biológico
Temperatura media	25.64	2.6	275	0.61	0.02	18.3 a 33.3	%N
	27.40	2.25		0.96	<0.001	18.3 a 33.3	NP
Diferencia entre días $\Delta T_d$	-0.09	0.22	274	0.77	0.01	-4.5 a 2.5	%N
Oscilación térmica	5.18	1.56	275	0.93	0	1.5 a 13.5	%N
Temperatura mínima	23.63	3.48		0.62	0.03	17.5 a 28.5	%N
Temperatura máxima	27.18	4.63		0.36	0.22	22.5 a 35.5	%N

La oscilación térmica diaria óptima fue de aproximadamente 5°C (Tabla IV.5), lo que indica que la temperatura fue relativamente estable, como también lo muestran las temperaturas mínima y máxima que coincidieron con la mayor anidación ( $23.6 \pm 3.5$  y  $27.2 \pm 4.6$ , respectivamente). Los coeficientes de correlación resultantes entre los registros observados y los calculados con la oscilación térmica y la temperatura mínima fueron significativos, en contraste, con el obtenido entre la anidación (%N) y la temperatura máxima ( $r = 0.36$ ;  $p = 0.22$ ).

La prueba de Jonckheere-Terpstra mostró que las hembras arribaron en mayor cantidad cuando la temperatura fue templada, la oscilación diaria menor a 6°C y hubo una ligera disminución entre días consecutivos (Tabla IV.6).

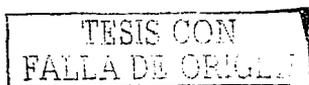
Las medianas obtenidas cuando la abundancia fue mayor a 10 hembras sobre la playa fueron similares a los valores óptimos obtenidos con el ajuste de los datos a la curva de Gauss. En contraste, la abundancia fue mínima (menos de 10 hembras sobre la playa) cuando las condiciones fueron más cálidas. Sin embargo, esta comparación debe ser tomada con precaución debido a las diferencias en el tamaño de las muestras (Zar, 1996).

**Tabla IV.6.- Parámetros de la Prueba Jonckheere-Terpstra aplicada a los datos de Rancho Nuevo. Sólo se analizaron los días con tortugas. Se incluye la mediana registrada cuando se presentaron diferentes cantidades de hembras en las últimas tres columnas.**

Variable	J-T	p.	0	1-10	>10
Temperatura media	-3.98	6.2E-05	27.05	28.1	26.4
Diferencia entre días $\Delta T_d$	-3.25	0.001	0.2	0.1	-0.45
Oscilación Térmica	-2.88	0.003	7.12	7.5	5.75
Temperatura mínima	-3.27	0.001	24	25	23
Temperatura máxima	-3.89	0.0001	30.52	32.5	29
N			124	115	35

En contraste con los registros de Rancho Nuevo, las temperaturas óptimas estimadas con los datos de Soto la Marina fueron semejantes para los dos indicadores biológicos (promedio = 28.74 °C) como se muestra en la Tabla IV.7. El ajuste entre los datos calculados y observados fue mayor que en Rancho Nuevo, ya que los coeficientes de correlación fueron cercanos a la unidad; por otra parte, en esa localidad la diferencia entre la temperatura media obtenida entre los dos indicadores biológicos fue de 1.84°C, mientras que en la de Soto la Marina de 0.5°C, lo cual posiblemente fue consecuencia del tamaño de la muestra.

Las diferencias de la temperatura entre días consecutivos ( $\Delta T_d$ ) fueron negativas y sugieren que la anidación está relacionada con el decremento de la temperatura de un día para otro. La oscilación



térmica diaria fue moderada pero su desviación estándar fue muy grande (Tabla IV.7). Las temperaturas máximas y mínimas de Soto la Marina fueron diferentes, a las de Rancho Nuevo en +8 y -3°C respectivamente, por las diferencias microclimáticas entre ambas localidades.

Tabla IV.7.- Parámetros de las curvas de respuesta estimadas con la temperatura del aire de Soto la Marina obtenidos para las temporadas 1979-1998, con la excepción del tercer renglón que correspondió a algunos días del período 1981-1985.

Variable	Media (°C)	Dev. Est. (°C)	N	r	p	Recorrido	Indicador biológico
Temperatura media	28.98	2.17	1774	0.97	<0.001	11.25 a 35.25	N
	28.21	5.84		0.87	<0.001	11.5 a 36.5	%N
Temperatura media 1981-1985	28.76	1.83	275	0.89	<0.001	14.25 a 35.25	N
Diferencias entre días $\Delta T_d$	-5.89	3.97	1754	0.66	0.001	-11.5 a 8.5	%N
Oscilación térmica	6.18	15.21	1774	0.5	0.004	0.5 a 23.5	%N
Temperatura mínima	20.09	3.8	1774	0.92	<0.001	10.5 a 26.5	%N
Temperatura máxima	35.27	10.32	1774	0.48	0.003	16.5 a 46.5	%N

La temperatura media, la temperatura mínima, las diferencias entre días consecutivos ( $\Delta T_d$ ) y la oscilación térmica diaria registradas en los días en los que anidaron diferentes cantidades de hembras, presentaron variaciones significativas ( $p < 0.05$ ) de acuerdo con la prueba Jonckheere-Terpstra (J-T). La anidación fue abundante ( $> 50$  nidos/día) cuando las medianas de las dos primeras variables fueron menores, en comparación con la oscilación térmica diaria (Tabla IV.8)

Tabla IV.8.- Parámetros de la prueba de Jonckheere-Terpstra aplicada a los datos de Soto la Marina. Sólo se analizaron los días en los que se presentaron tortugas. Se incluye la mediana registrada cuando se presentaron diferentes cantidades de hembras en las últimas cinco columnas.

Variable	J-T	p	0	1-10	11-50	51-100	>100
Temperatura media	-2.27	0.02	26.8	29.2	29.2	28.3	27.8
Diferencias entre días $\Delta T_d$	-2.88	0.004	0.20	0.20	0.05	-0.10	-0.75
Oscilación térmica	1.91	0.05	13.5	13.5	13.6	14.4	14.5
Temperatura mínima	-4.47	<0.001	20.5	22.5	22	21.3	21
Temperatura máxima	-0.48	0.6	34	36	36	36.4	35
N			707	698	208	58	63

Cabe señalar que las arribazones fueron más frecuentes bajo condiciones similares a los intervalos óptimos obtenidos con las curvas de respuesta, con excepción de la oscilación térmica y la  $\Delta T_d$ , porque en esos casos fue menor el ajuste de los datos a la curva normal.

La comparación de los datos del intervalo 1981 - 1985 en Rancho Nuevo y Soto la Marina (N=151) mostraron que la temperatura óptima en la primera localidad fue ligeramente inferior (1.3 °C) a la de Soto la Marina, en donde las condiciones fueron más extremas. Los resultados del análisis de las diferencias térmicas entre días consecutivos ( $\Delta T_d$ ) y los registros mínimos y máximos de Soto la Marina pueden apoyar los obtenidos con los datos de Rancho Nuevo porque la tendencia de las variaciones meteorológicas fue similar en las dos zonas. La excepción fue la oscilación térmica, porque en Rancho Nuevo las anidaciones fueron más abundantes cuando la diferencia entre la temperatura máxima y mínima fue menor, mientras que la oscilación medida en Soto la Marina fue más grande. Es probable que estas variaciones hayan resultado de las diferencias en el tamaño de la muestra.

Por otra parte, la temperatura promedio de Soto la Marina que coincidió con la mayor anidación en el intervalo 1981-1985, fue estadísticamente similar a la del periodo 1979-1998 porque la prueba de *t* utilizada para la comparación de las medias, no arrojó diferencias significativas para los datos estimados con la función de la curva normal y optimizados ( $p=0.1$ ), los cuales se muestran en la figura IV.3, ni para los datos observados ( $p=0.23$ ), lo que sugiere que los parámetros calculados con los registros del primer intervalo pueden ser representativos de un periodo más largo y permite validar los resultados obtenidos a partir de los registros de Rancho Nuevo como indicativos de las preferencias de la población.

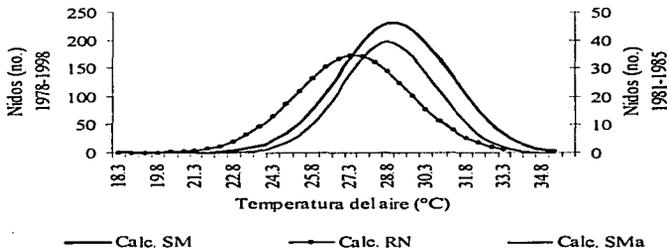


Fig. IV.3.- Curvas de respuesta obtenidas con la temperatura promedio diaria. Sólo se muestran los valores calculados. SM: S. la Marina del periodo 1978-1998; SMA: S. la Marina de 1981-1985; R. Nuevo 1981-1985.

#### *Viento.*

Las curvas de respuesta a los factores X y Y del viento, mostraron que la presencia de las hembras sobre la playa fue más abundante cuando el flujo provenía del SE, aunque la desviación estándar de ambos componentes fue elevada, particularmente la del componente Y (Norte-Sur), ya que el coeficiente de variación fue de 131% en comparación con el del Este-Oeste que fue del 62%.

Puesto que el ajuste de los datos de toda la temporada a la distribución normal no fue significativo y entre abril y junio el patrón de vientos llegó a ser dominado por los alisios, los registros se ajustaron mensualmente. El cambio en el régimen de vientos entre invierno y verano se reflejó en los intervalos óptimos. En abril la desviación estándar del Componente X mostró que los desoves fueron abundantes bajo vientos del NE y SE, mientras que en mayo y junio fueron más frecuentes bajo vientos del SE (Tabla IV 9)

Esos cambios también fueron evidentes en las comparaciones realizadas entre los días en los que se presentaron diferentes cantidades de hembras. En abril, las tortugas fueron más abundantes (>50 hembras por día) bajo vientos moderados del N y NE, que cuando dominaron los vientos del SE y E (Tabla IV.9). Estas diferencias fueron significativas como lo muestra la prueba J-T aplicada a los Componentes X y Y ( $J-T_X$  estadístico=-1.96,  $p=0.04$ ;  $J-T_Y$  estadístico=2.81,  $p=0.005$ )

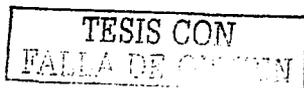
**Tabla IV.9.- Parámetros descriptivos de las curvas de tolerancia obtenidos con los componentes del viento. La dirección se expresó como un ángulo creciente en el sentido de las manecillas del reloj.**

Vriable	Medin	Desv. Est.	r	p	Recorrido	N
<b>Comp. X (m/seg)</b>						
Abril	1.34	1.39	0.83	0.004	-2 a 6	600
Mayo	1.84	1.00	0.96	<0.001	-3 a 7	620
Junio	1.79	0.82	0.98	<0.002	-2 a 4	600
<b>Comp. Y (m/seg)</b>						
Abril	-0.35	1.3	0.93	<0.001	-5 a 12	600
Mayo	-0.75	1.24	0.97	<0.001	-4 a 8	620
Junio	-0.89	1.04	0.99	<0.001	-3 a 4	600
<b>Dirección (grados)</b>						
Abril	135		0.87	<0.001	0-337.5	600
Mayo	135		0.87	<0.001	0-337.5	620
Junio	135		0.88	<0.001	0-337.5	600
<b>Velocidad (m/seg)</b>						
Abril	2.39	0.56	0.96	<0.001	0-12	600
Mayo	2.39	0.56	0.99	<0.001	0-12	620
Junio	2.34	0.51	0.98	<0.001	0-5	600

En mayo, aunque el valor de los percentiles (Tabla IV.10) permite suponer que las hembras prefirieron anidar bajo vientos del N (Fig. IV. 4), el estadístico J-T no fue significativo, posiblemente porque las condiciones de transición de ese mes, ya que el patrón de viento cambió de invernal a veraniego. En junio, la mayoría de las arribadas ocurrieron bajo vientos del SE, mientras que menos de 50 hembras arribaron bajo vientos del S y E. Estas diferencias fueron significativas de acuerdo a la prueba J-T aplicada al componente Y ( $p=0.002$ ).

**Tabla IV.10.- Percentiles y mediana de los componentes del viento de los días en que se presentaron diferentes cantidades de hembras. Se presenta la mediana porque es utilizada en la prueba Jonckheere-Terpstra .**

Mes	Hembras (no.)	Componente X			Componente Y		
		Percentil (25%)	Mediana	Percentil (95%)	Percentil (25%)	Mediana	Percentil (95%)
Abril	0	0.77	1.85	2.22	-1.41	0.00	0.36
	1-10	1.41	1.84	2.12	-1.77	-1.34	0.77
	11-50	0.06	1.50	2.12	-1.63	-0.77	1.71
	>50	0.05	0.9	1.92	-1.45	1.48	3.00
Mayo	0	1.41	2.0	2.49	-1.41	0.0	0.0
	1-10	1.41	1.85	2.12	-1.56	-0.92	0.0
	11-50	1.41	1.85	2.19	-1.93	-1.36	0.19
	>50	0.05	1.59	2.30	-1.48	0.0	1.80
Junio	0	1.41	1.85	2.12	-1.41	-0.77	0.0
	1-10	1.41	1.85	2.19	-1.56	-1.15	0.0
	11-50	1.41	1.77	2.12	-1.61	-1.41	0.0
	>50	1.27	1.84	2.12	-1.84	-1.20	0.71





## Inicio de la temporada

### Relación con la temperatura superficial marina y las condiciones meteorológicas

Las fechas en que se presentaron los primeros nidos sobre la playa (7 de abril  $\pm$  9 días) y la primera arribazón (22 de abril  $\pm$  6 días) mantuvieron cierta regularidad (Figura IV.5), aunque en el primer caso la variabilidad fue mayor (Coef. Variación = 77.4%) que entre las arribazones (Coef. Variación = 23%).

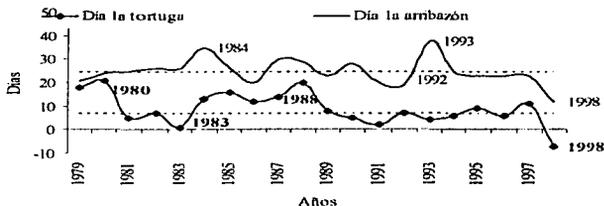


Fig. IV.5.- Fechas de la ocurrencia de la(s) primera(s) tortuga(s) sobre la playa y de la primera arribazón. El origen del eje de las ordenadas se refiere al 1 de abril. Los valores negativos corresponden a marzo. Las líneas punteadas destacan las fechas promedio. Los rótulos señalan los animales.

De acuerdo a lo establecido en la hipótesis de trabajo se utilizaron la temperatura superficial marina, la temperatura del aire y el viento dominante para determinar la variable con mayor influencia en la ocurrencia del desove

La información sobre la temperatura superficial marina fue escasa, por lo que sólo permitió comparar visualmente la tendencia de esa variable con la distribución de la anidación a lo largo de las tres temporadas. En las gráficas se aprecia que en 1997 y 1998 el desove se inició alrededor de los 23 °C, mientras que en 1996, la anidación se presentó después de un cambio abrupto de temperatura (Fig. IV.6). Como era de esperarse, estas observaciones fueron compatibles con el intervalo correspondiente a la primera curva de respuesta calculada con los valores semanales.

Los registros meteorológicos fueron más abundantes, por lo que en primera instancia, se exploró la posible relación entre la primera arribazón, las anomalías térmicas y la tasa con la que ascendió diariamente la temperatura en abril (TCA). También se utilizó la proporción de la anidación que se presentó en abril. Los análisis se hicieron en dos intervalos 1978-1998 y 1978-1997, éste último se utilizó para eliminar el sesgo de los elevados valores de temperatura y abundancia que caracterizaron a 1998

El coeficiente de correlación obtenido con la TCA no fue significativo ( $r=0.303$ ;  $p=0.194$ ;  $N=20$ ), al contrario de lo ocurrido con los derivados de los análisis de las anomalías térmicas y la

proporción de la anidación; sin embargo, cuando se eliminaron los registros de 1998, sólo ésta última variable arrojó resultados significativos ( $r = -0.50$ ;  $p = 0.04$ ;  $N = 16$ ) y el signo negativo de la pendiente indicó que la primera arribazón tendió a adelantarse al aumentar la abundancia.

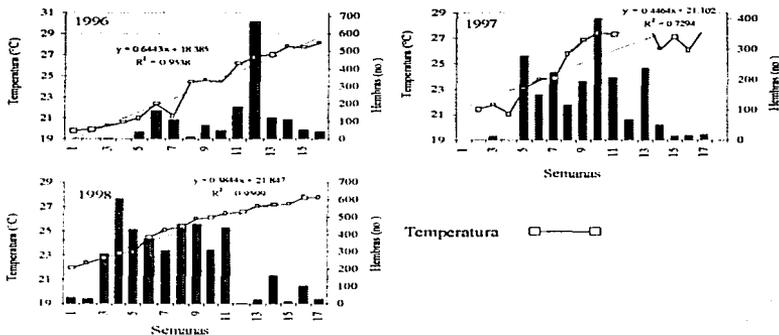


Fig. IV.6.- Variación semanal de la temperatura superficial marina y de la anidación. El desove se inició después de un incremento térmico brusco o cuando se rebasaron los 23°C. La primera semana corresponde a la primera semana de abril.

En apoyo a la hipótesis que relaciona la abundancia con la ocurrencia de la primera arribazón, se calculó el lapso entre la aparición del primer nido sobre la playa y la primera arribazón ( $\Delta T_{IA-IN}$ ), sobre el supuesto de que existe una relación lineal directa entre ambas variables. La duración promedio de ese intervalo fue de  $16 \pm 8$  días, excepto en 1983 y 1993, cuando fue mayor. Por el contrario, en 1979 y 1980, ese lapso fue muy corto, sin embargo, es probable que haya estado relacionado con la capacidad operativa con la que contaba el Programa de Protección en esa época (Márquez, com. pers.)

Las anomalías del intervalo  $\Delta T_{IA-IN}$  y las del primer nido estuvieron correlacionadas ( $r = -0.87$ ;  $p < 0.001$ ,  $N = 20$ ), pero el signo negativo del coeficiente mostró que cuando las primeras tortugas aparecieron tardíamente sobre la playa, las arribazones ocurrieron poco tiempo después, mientras que los intervalos fueron ligeramente más grandes en algunas temporadas en las que las hembras se adelantaron, como se muestra en la Figura IV.7 en donde los valores mayores y menores que la primera desviación estándar se tipificaron como adelantados, atrasados, grandes y pequeños para facilitar la interpretación



Fig. IV.7.- Relación entre la ocurrencia de la(s) primera(s) hembras(s) sobre la playa y el intervalo entre éste y la primera arribazón. Los datos entre 1 y -1 pueden considerarse como normales.

Para tratar de distinguir el efecto de los cambios meteorológicos de corto plazo en la primera arribazón se hicieron análisis de correlación de la abundancia diaria de los nidos y las hembras con los registros meteorológicos de los cinco días anteriores a la primera arribazón (CA<sub>n</sub>). Los ANDEVA's aplicados para comparar las condiciones de los intervalos CA<sub>n</sub> a través de los años, evidenciaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en las temperaturas medias, mínima y máxima así como en la oscilación térmica, por lo que se eliminaron de los análisis posteriores.

Por otra parte, según el análisis de comparaciones múltiples de Duncan la magnitud del componente X del viento fue diferente en 1980, 1982 y 1989, por lo que se esos registros se suprimieron. En contraste, no se detectaron diferencias significativas en las variaciones térmicas entre días consecutivos (CV<sub>n</sub>), ni en la dirección, la velocidad y el componente Y del viento, lo cual permite suponer que los cambios significativos de esas variables dentro de los periodos podrían ser utilizados como señales para regular el comportamiento de las hembras.

La comparación de las condiciones entre los cinco días previos a la primera arribazón, realizada con el ANDEVA solo exhibió diferencias significativas en los componentes X y Y del viento (Tabla IV.11). Sin embargo, mientras que en este último, el análisis de comparaciones múltiples de Duncan solo evidenció diferencias significativas entre el día de la arribazón (día 0) y los días -4, -3 y -2, en el componente X hubo diferencias significativas entre todos los días aunque las del día -3 y -1 solo presentaron un valor de confianza del 90%.

Tabla IV.11.- Análisis de varianza aplicados para detectar variaciones dentro de los intervalos CA<sub>n</sub>. Se eliminaron los registros de viento de 1980, 1982 y 1989 porque las condiciones fueron significativamente diferentes.

Variable	g.l.	F	p
Diferencia entre días Tmed	5, 111	1.25	0.29
Diferencia entre días Tmax	5, 111	1.3	0.27
Diferencia entre días Tmin	5, 111	1.95	0.09
Oscilación Térmica	5, 112	0.8	0.55
Dirección del viento	5, 102	0.69	0.63
Velocidad del viento	5, 102	0.25	0.94
Componente X del viento	5, 102	3.08	0.01
Componente Y del viento	5, 102	2.49	0.04

En la figura IV.8 se muestra que antes de la arribazón la dirección del viento cambio del Sudeste al Este - Noreste y se redujo la velocidad, simultáneamente se incrementó la desviación estándar de



ambos componentes (Tabla IV.12), las que fueron ejemplificadas con las elipses dibujadas en los extremos de los vectores.

Tabla IV.12.- Parámetros descriptivos de los componentes del viento en los cinco días previos a la ocurrencia de la primera arribazón, la cual se presentó en el día 0. N=18.

Días previos	Componente X		Componente Y	
	Media	Desv. est.	Media	Desv. est.
-5	2.18	0.75	-0.05	1.033
-4	2.15	1.24	-1.024	1.23
-3	1.66	0.91	-1.022	1.40
-2	1.78	0.82	-0.75	1.45
-1	1.69	0.61	-0.40	1.57
0	1.09	1.24	0.37	2.12

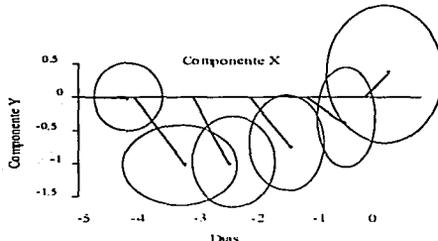


Fig. IV.8.- Variaciones de los componentes del viento en los 5 días anteriores a la primera arribazón (día 0). Los ejes de las elipses son indicadores de las desviaciones estándar de ambos componentes.

Los coeficientes obtenidos de los análisis de correlación entre la abundancia diaria de los nidos con las variables asociadas con los cambios de la temperatura no fueron significativos (Tabla IV. 13) En contraste, con los obtenidos con el componente X del viento, del día anterior y 4 días antes a la arribazón, sin embargo, los coeficientes negativos sugieren que se redujo el componente Este-Oeste antes de que se presentaran las hembras

La relación con el componente Y fue menos clara porque el análisis sólo fue significativo con los datos del día -5 y en el día cero el valor de  $r$  sólo alcanzó un valor de significancia ( $p$ ) de 10%. Es probable que esto haya sido consecuencia del incremento de la variabilidad de este componente en ese día como se describió en párrafos anteriores

**Tabla IV.13.- Coeficientes obtenidos al correlacionar el porcentaje de la anidación con 3 variables ligadas con la temperatura y 4 asociadas al viento. Intervalo 1978-1998; se excluyeron 1982 y 1993 porque la primera arribazón se presentó en mayo. Los números en negritas fueron significativos al 95% de confianza.**

Fase	$\Delta T_d$	$\Delta T_{max_d}$	$\Delta T_{min_d}$	N	Dir.	Vel.	Comp. X	Comp. Y	N
0	-0.04	-0.29	0.22	18	-0.34	0.03	-0.23	0.42	16
-1	-0.09	-0.08	0.19	18	-0.14	0.18	<b>-0.52</b>	0.15	16
-2	-0.17	-0.13	-0.21	18	0.16	-0.16	-0.28	<b>-0.25</b>	16
-3	-0.05	-0.03	-0.03	17	0.29	0.20	0.10	-0.16	16
-4	-0.004	0.21	-0.18	17	0.05	0.42	<b>0.52</b>	0.22	16
-5	-0.15	-0.31	-0.04	17	-0.47	-0.26	-0.42	<b>0.54</b>	17

### *Distribución temporal de la anidación.*

#### *Temperatura superficial marina.*

En la hipótesis de trabajo que se utilizó en esta sección se asumió que las condiciones térmicas de los corredores migratorios comprendidos entre los paralelos 27 °N y 21 °N, estuvieron directamente relacionadas con la distribución mensual de las anidaciones por lo que, como se describió en los Métodos, se realizaron análisis de regresión y correlación entre la abundancia mensual de las anidaciones del intervalo 1989-1993 y las temperaturas promedio extraídas de transectos ubicados sobre las imágenes térmicas (Ver Capítulo 1)

El tamaño de la muestra utilizada en estos análisis sólo permitió elaborar hipótesis acerca de la relación entre la temperatura y la distribución temporal de la anidación, por esta razón también se consideraron los resultados significativos al 90% de confianza.

En la Figura IV 9 se muestra la anidación de abril y las condiciones térmicas de cada paralelo entre enero y ese mes. Allí se destacan las pendientes negativas obtenidas con la temperatura de enero y febrero de los paralelos ubicados al Norte del 24 °N, la aparente contradicción entre estos resultados y la hipótesis de trabajo, que suponía una relación positiva entre las variables, se explica porque en los años con anidación escasa en abril (1989 y 1993) la temperatura mínima se obtuvo en marzo, mientras que entre 1990 y 1992, cuando ocurrió lo contrario, la temperatura más baja se registró entre enero y febrero

En la Figura IV 9 también destacan las diferencias latitudinales de la temperatura. En febrero y marzo la temperatura más baja se presentó al Norte del río Bravo (27 °N) Frente a Laguna Madre (25 °N) y sobre el paralelo 24 °N, las diferencias entre las temporadas fueron menos conspicuas en marzo que en febrero. En el paralelo 23 °N y en los ubicados al Sur de ese paralelo, la temperatura de marzo fue superior a los 22 °C y las variaciones térmicas menos notables, lo cual explica la escasa correlación con la abundancia

Los coeficientes de correlación y determinación obtenidos entre la temperatura de los paralelos en el intervalo enero-abril y el número de nidos depositados en mayo y julio no fueron significativos; mientras que en junio, lo fueron con respecto a la temperatura de ese mismo mes, aunque la mayoría fueron negativos. Estos resultados sugieren que las condiciones térmicas invernales de la plataforma continental ubicada entre los paralelos 24 y 27 °N sólo afectan el inicio de la temporada de anidación

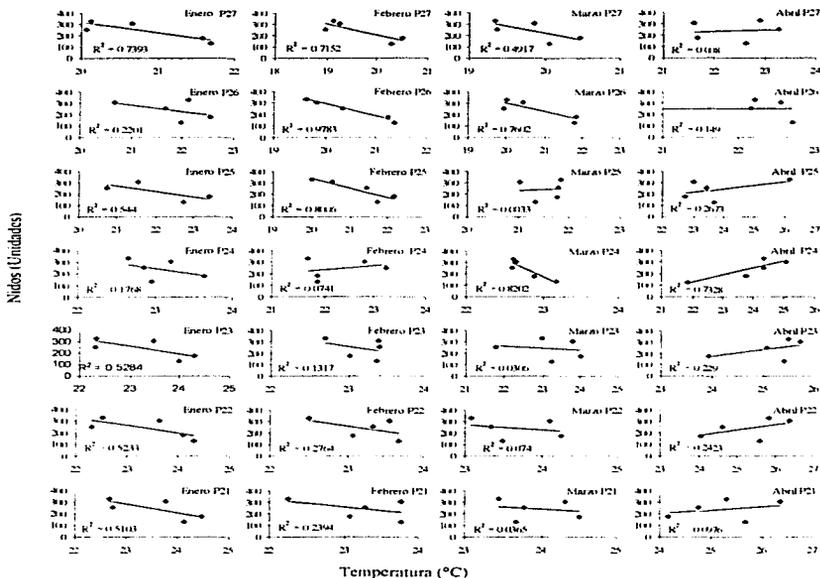


Fig. IV.9.- Relación entre la anidación de abril y la temperatura promedio de cada paralelo entre enero y abril. Intervalo 1989-1993.

Los coeficientes de las regresiones lineales elaboradas entre la abundancia mensual y la tasa de calentamiento entre invierno y primavera ( $^{\circ}\text{C}$ ) imperante sobre los corredores migratorios, fueron significativos en abril, junio y julio. El signo de la pendiente fue positivo en abril y negativo en los otros dos meses (ver renglón de promedio en la Tabla IV.14).

Los resultados obtenidos con las tasas estimadas para cada paralelo mostraron variaciones latitudinales, ya que los coeficientes fueron positivos y significativos al 90 y 95 % de confianza en los análisis realizados entre el número de nidos de abril y las tasas de los paralelos 21 y del 24 al  $27^{\circ}\text{N}$ . Por otra parte, los coeficientes obtenidos con los valores de mayo no fueron significativos, mientras que los correspondientes a los datos de junio y julio lo fueron al 95% de confianza con la



TC de los paralelos 25 -27 y al 90% de confianza con los de los paralelos 21-24 °N (junio) aunque todas las pendientes fueron negativas (Tabla IV.14).

Tabla IV.14.- Parámetros de las regresiones elaboradas con la tasa de calentamiento (TC) de los paralelos 21-27 °N de 1989 a 1993 con el número de nidos registrados entre abril y julio. Claves: b: ordenada al origen; m: pendiente; P: significancia, N=5

Paralelo	r <sup>2</sup>	r <sup>2</sup> aj	p	b	m	Paralelo	r <sup>2</sup>	r <sup>2</sup> aj	P	b	m
abril						junio					
27	0.74	0.66	0.05	-222.79	62.8	27	0.79	0.72	0.04	850.14	-89.94
26	0.74	0.65	0.06	-117.2	55.83	26	0.78	0.7	0.04	705.31	-75.2
25	0.87	0.83	0.02	-104.45	56.64	25	0.83	0.77	0.03	665.08	-72.48
24	0.65	0.53	0.09	-532.08	160.13	24	0.67	0.57	0.08	1259.31	-214.27
23	0.59	0.46	0.12	-161.09	86.78	23	0.64	0.53	0.09	772	-118.53
22	0.61	0.48	0.11	-131.74	83.98	22	0.65	0.54	0.09	728.77	-114
21	0.68	0.57	0.08	-87.34	76.7	21	0.66	0.55	0.09	647.92	-99.27
Prom	0.83	0.78	0.03	-228.16	86.31	Prom	0.85	0.8	0.023	846.03	-114.63
mayo						julio					
27	0.15	-0.12	0.51	270.41	20.29	27	0.82	0.77	0.03	182.15	-20.53
26	0.2	-0.06	0.44	288.57	20.54	26	0.85	0.8	0.02	149.5	-18.56
25	0.61	0.49	0.11	215.74	33.63	25	0.83	0.77	0.03	134.99	-17.12
24	0.23	-0.01	0.4	92.07	68.03	24	0.76	0.68	0.05	289.85	-53.73
23	0.03	-0.2	0.77	353.9	14.25	23	0.55	0.41	0.14	151.11	-26.02
22	0.05	-0.25	0.69	338.1	18.45	22	0.58	0.44	0.13	143.4	-25.45
21	0.31	0.09	0.32	261.5	37.18	21	0.59	0.45	0.12	125.71	-22.22
Prom	0.25	0.21	0.381	235.74	33.98	Prom	0.84	0.79	0.025	177.24	-26.95

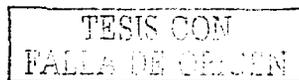
Estos resultados sustentan la hipótesis de que la distribución mensual de la anidación fue influida por la temperatura superficial y por la tasa de calentamiento TC registrada en el corredor migratorio ubicado entre Rancho Nuevo y la desembocadura del Río Bravo

Sin embargo, la TC fue pequeña e incluso menor a la resolución radiométrica del satélite por la forma en que fue calculada. Para apoyar los resultados obtenidos con esa variable, se emplearon las diferencias de la temperatura entre los meses consecutivos ( $\Delta T$ )

Los análisis mostraron relación entre el número de nidos de abril y la diferencia  $\Delta T$  entre febrero y marzo detectada en el paralelo 25 °N y con la  $\Delta T$  entre marzo y abril del paralelo 24 °N. En ambos casos el coeficiente r fue positivo y el de determinación sugirió que una elevada proporción de la varianza de la anidación podía ser explicada por esta variable (Tabla IV.15). En contraste, los coeficientes obtenidos con las diferencias entre junio y julio fueron negativos

La anidación de mayo aparentemente estuvo asociada de manera directa con la diferencia entre abril y mayo, mientras que ocurrió lo contrario entre junio y la  $\Delta T$  entre marzo y abril. Estos resultados apoyan la hipótesis establecida con la tasa de cambio entre invierno y primavera, pero también sugieren que el efecto de la variable se limita a los paralelos más cercanos a la zona de anidación

Para relacionar la anidación con el frente térmico que se presenta estacionalmente frente a Tamaulipas (Capítulo I), se hicieron análisis de regresión con los gradientes calculados a lo largo de cada uno de los paralelos (G). Los coeficientes de determinación fueron significativos en la anidación registrada en abril y los gradientes medidos en marzo en los paralelos 27, 26 y 22 °N.



esto es, con los ubicados en el Norte y al Sur de Tamaulipas. Sin embargo, en los tres casos las pendientes fueron negativas. La abundancia en ese mes también estuvo significativamente relacionada con el gradiente del paralelo 23 °N calculado para abril.

**Tabla IV.15.- Correlación entre las diferencias entre los meses consecutivos y la anidación mensual. Los números incluidos en las diferencias representan a los meses (2: febrero; 3: marzo; etc.).**

Paralelos	Diferencia	Nidos	r	r <sup>2</sup>	r <sup>2</sup> aj	p	b	m
25	3-2	abril	0.89	0.79	0.70	0.04	208.25	80.93
24	4-3	abril	0.89	0.80	0.74	0.04	145.78	71.86
26	7-6	abril	-0.89	0.80	0.74	0.04	281.58	-121.54
24	7-6	abril	-0.91	0.83	0.78	0.03	275.72	-95.47
24	5-4	mayo	0.85	0.72	0.639	0.06	-78.88	595.77
24	4-3	junio	-0.92	0.85	0.8	0.02	-97.19	351.6

La anidación de mayo se correlacionó positivamente con los G medidos en marzo en el paralelo 21, mientras que la de junio con los registros de marzo (p27, p26, p22), abril (p27 y p25) mayo (p27 y p26) y junio (p25 y p27). Con la excepción de la pendiente obtenida entre la anidación de junio y los G del paralelo 27 °N, el resto fueron positivas. Los registros de julio presentaron coeficientes significativos con los G de abril, mayo y junio de los paralelos 25-27 °N. Sin embargo, el signo de los coeficientes fue positivo en las correlaciones realizadas con los gradientes de abril, y tanto positivo, como negativo para los de mayo y junio.

Los resultados indicaron que la anidación se retrasó cuando los gradientes de los paralelos ubicados al Norte de Tamaulipas fueron más acusados, esto es, cuando la temperatura fue más elevada en el borde exterior de la plataforma que en las inmediaciones de la línea de costa.

En esta sección se mostró que la distribución mensual de la anidación estuvo relacionada con las condiciones térmicas de la zona de anidación y de los corredores migratorios. Sin embargo, también cabe la posibilidad de que las variaciones semanales de la temperatura superficial marina de la zona de anidación hayan influido en la distribución semanal de los nidos.

En la Figura IV 10 se aprecia que durante las primeras 4 semanas de las temporadas 1996-1998, las fluctuaciones térmicas estuvieron significativa y positivamente correlacionadas con las de la anidación ( $r = 0.58$ ,  $p = 0.03$ ,  $N = 13$ ), pero posteriormente las arribaciones más abundantes ocurrieron en condiciones estables, como ocurrió en las semanas nueve y diez (Figs IV.10 A y B), lo cual sugiere que los cambios en esta variable podrían contribuir a detonar el desove al principio de la temporada.

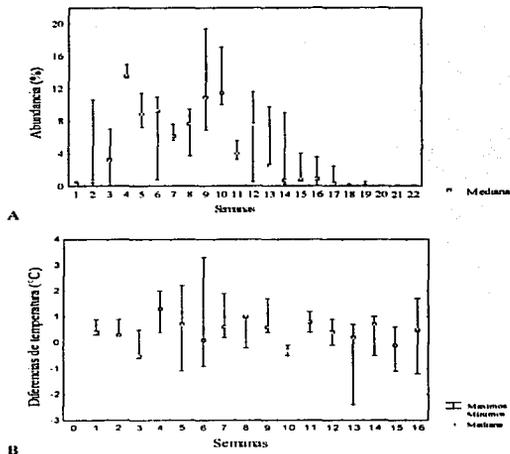


Fig. IV.10.- Variaciones de la anidación semanal (A) y de las diferencias semanales de la TSM del área de anidación (B). Los cambios de temperatura más grandes se presentaron en mayo.

Por otro lado, los análisis realizados con las pendientes calculadas para las distribuciones de frecuencia de los gradientes térmicos obtenidos del filtro Sobel no arrojaron resultados significativos. Esto puede ser resultado de la similitud de las distribuciones entre fechas con condiciones diferentes (Ver Fig. 15C en Apéndice A).

#### *Formación de arribazones. Preferencia individual*

Las 132 hembras a las que se dio seguimiento entre 1988 y 1995 fueron observadas en 1034 ocasiones, de las cuales el 32% correspondió a los días en los que la abundancia fue menor a 50 tortugas, mientras que el 68% cuando superó este valor.

El análisis de los individuos, sustentado en la hipótesis de que la preferencia estaba determinada por las condiciones correspondientes al 50% de las observaciones, mostró que la mayoría fueron detectadas entre el 50 y el 80% de las veces en arribazones (Fig. IV.11). En contraste, siete tortugas siempre fueron registradas en esos eventos, mientras que sólo dos presentaron poco más de la mitad de sus anidaciones cuando la abundancia fue menor a 10 tortugas.

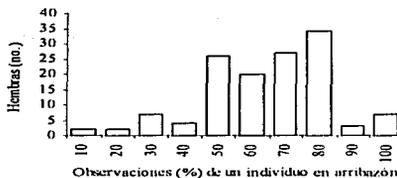


Fig. IV. 11.- Porcentaje de las observaciones de 132 hembras que fueron registradas en arribazón.

Algunas anidaciones en solitario fueron la culminación de una serie de intentos iniciados en una arribazón (Tabla IV.16) y aunque también se detectó la situación contraria, el número de tortugas fue mínimo (hembras T1320, J1557, J1551).

Tabla IV.16.- Hembras que intentaron anidar en una arribazón y que ovopositaron en solitario. Se muestra la marca metálica portada durante la anidación y los intentos, así como la secuencia de marcas registradas en el período de estudio (la primera es la más reciente).

Fecha	Marcas	Intento	Secuencia de marcas	Abundancia (hembras sobre la playa)	Huevos (no.)
8-VI-88	T1085	1	J1847/T1085	179	0
9-VI-88		2		26	0
9-VI-88		3		26	96
8-V-93	T1335	1	AA303/ T1335	148	0
10-V-93		2		43	118
8-V-93	J1806	1	J1806/ J1626/ T1413	148	0
10-V-93		2		43	89
23-V-93	AA038	1	AA038/ T1390	28	0
25-V-93		2		64	113
8-V-93	J1055	1	AA989/ J1055/ T1317/ T1038	148	0
10-V-93		2		43	111
24-V-94	J1670	1	J1670/ T1670/ J1730	225	0
25-V-94		2		40	124

Cabe mencionar que las anidaciones en solitario de las hembras que fueron vistas más de una vez en una temporada aparentemente ocurrieron al azar.

#### *Formación de arribazones. Variables meteorológicas.*

Los resultados de los análisis de correlación elaborados entre el porcentaje de la anidación de cada uno de los meses y las anomalías térmicas mensuales del período 1979-1998 (Tabla IV.17) sugirieron que existió una relación directa entre ambas variables. Sin embargo, cuando se eliminaron los datos de 1998 los coeficientes no fueron significativos.

Tabla IV.17.- Coeficientes de correlación obtenidos entre las anomalías térmicas y la anidación mensual. Resultados con y sin los datos de 1998. Los coeficientes en negritas fueron significativos al 95% de confianza.

Mes	con 1998	sin 1998
	(N=20)	(N=19)
Marzo*	<b>0.48</b>	<b>0.39</b>
Abril	<b>0.45</b>	<b>0.36</b>
Mayo	<b>0.01</b>	<b>0.03</b>
Junio	<b>0.02</b>	<b>0.14</b>

\* Correlacionado con la anidación de abril

Algo semejante ocurrió cuando se correlacionaron las anomalías térmicas mensuales con el número de arribazones (Tabla IV.18). Estos resultados indican que la influencia de las condiciones meteorológicas promedio en la anidación fue escasa o poco perceptible, en contraste con lo detectado en los análisis de la temperatura superficial marina.

Tabla IV.18.- Coeficientes de correlación obtenidos entre las anomalías térmicas y el número de arribazones presentes en los meses que encabezan las columnas. Los coeficientes en negritas fueron significativos al 95% de confianza.

Anomalías	Arribazones					N
	Abril	Mayo	Junio	Julio	Lapso	
Abril	<b>0.50</b>	0.023	-0.07	<b>0.47</b>	1978-1998	21
Mayo		<b>0.48</b>	0.40	-0.08		
Junio			<b>0.53</b>	0.15		
Abril	<b>0.25</b>	<b>-0.57</b>	<b>-0.32</b>	<b>0.56</b>	1978-1997	20
Mayo		<b>0.36</b>	<b>0.30</b>	<b>-0.05</b>		
Junio			<b>0.37</b>	<b>0.3</b>		
Abril	<b>0.40</b>	<b>-0.47</b>	<b>-0.05</b>	<b>0.58</b>	1978-1996	19
Mayo		<b>0.29</b>	<b>0.19</b>	<b>-0.04</b>		
Junio			<b>0.07</b>	<b>0.4</b>		

En consecuencia se optó por analizar las fluctuaciones diarias, suponiendo que el efecto de la temperatura del aire podría ser apreciable a esta escala. Como se estableció en los Capítulos II y III se utilizó el análisis espectral para detectar las oscilaciones cíclicas en ésta y otras variables. En los espectros de la distribución temporal de la anidación y de la temperatura y el viento coincidieron las frecuencias comprendidas entre 3 y 12 días (Tabla IV.19; Fig. IV.12).

Tabla IV.19.- Períodos (en días) de las frecuencias predominantes en los espectros de las series de tiempo de las características meteorológicas y los nidos. Series de tiempo del Grupo II de acuerdo con la clasificación incluida en la Tabla IV.2 del Capítulo II.

Variables	Periodo Medio de las oscilaciones (Soto la Marina)
Temperatura (°C)	3 (0.20), 4 (0.31), 5 (0.31), 7 (0.65), 12 (0.57)
Velocidad del viento (m/seg)	3 (0.25), 4 (0.31), 5 (0.27), 7 (0.57), 12 (0.48)
Dirección del viento (grados)	3, 4, 5, 7.5, 12
Nidos (unidades)	3 (2.4), 4 (2.6), 5 (2.5), 7 (3.1), 12 (2.7), 22 (2.8)

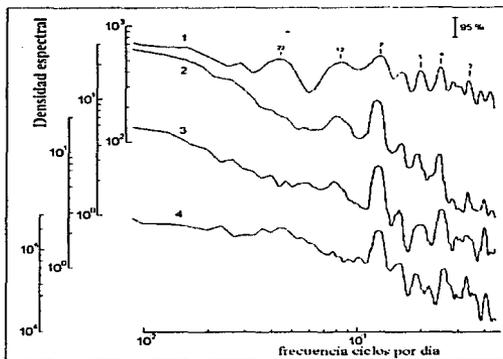


Fig. IV.12.- Espectros de la frecuencia de anidación (1), temperatura del aire, dirección del viento (3) y velocidad del viento (4) estimados con los datos diarios de 1979 a 1996 y tomados en Soto la Marina. La línea vertical en el espectro indica los límites del 95% de confianza.

Los espectros de las variables fueron relacionados entre sí con la función de coherencia, cuya interpretación fue similar a la del coeficiente de correlación de Pearson. En este caso, los segmentos de la curva con valores superiores a 0.4, estuvieron por arriba de la línea de 95% (Fig. IV.13) e indicaron las frecuencias en las que los pares de espectros fueron significativamente coherentes.

La coherencia entre la frecuencia de anidación y la temperatura del aire fue significativa para varias frecuencias, entre las que destacan las de 3, 4, 5, 7, 26 y 42 días (Fig. IV.13). Las cuatro primeras coincidieron con algunos de los intervalos más frecuentes que presentan las arribazones y la tercera fue similar a la de los intervalos entre anidaciones consecutivas. En contraste con la temperatura, la coherencia de la anidación con la velocidad del viento fue significativa en las frecuencias de 21 y 33 días, mientras que con la dirección sólo con la de 21 días.

También se calculó la función de desfaseamiento para cada par de series. Esta valoración tiene sentido físico sólo para las frecuencias en las que la coherencia supera al intervalo de confianza y es distinta de cero. En este trabajo, la diferencia de fase fue cercana a cero para la mayoría de las frecuencias, lo cual sugiere que la variación de las variables meteorológicas y la frecuencia de desove de la tortuga lora, ocurrió sin desfaseamiento y permitió corroborar las relaciones empíricas planteadas en algunas temporadas (Villanueva, 1973, 1974, 1977).

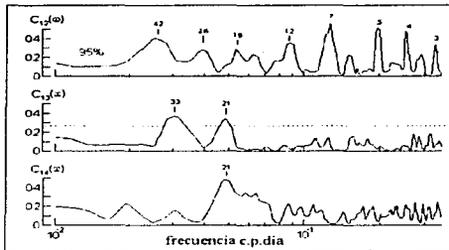


Fig. IV.13.- Coherencia entre pares de evaluaciones espectrales. 1-2: frecuencia de anidación (FD) – temperatura; 1-3 FD-velocidad de viento; 1-4: FD-dirección de viento. La línea horizontal puntada muestra el límite superior del intervalo de confianza (95%) de la coherencia.

*Las variaciones de la anidación y los eventos atmosféricos de escala global.*

La abundancia de la anidación ha presentado amplias variaciones a lo largo de las temporadas, por lo que en esta sección se utilizó la diferencia en la abundancia entre años consecutivos ( $\Delta N_{i,i+1}$ ) para evaluar la influencia del ambiente en esos cambios.

Los coeficientes resultantes de las correlaciones directas y cruzadas de la diferencia de nidos y las anomalías térmicas estacionales de los años  $i$  e  $i+1$  realizadas con los periodos 1978-1996 y 1978-1997, no indicaron la existencia de relación entre las variables y sólo fueron significativos cuando se agregó la  $\Delta N$  del intervalo 1997-1998 a la serie de tiempo (Tabla IV 20). En 1998 se incrementaron, tanto la anidación, como la temperatura y esta coincidencia sesgó los resultados del análisis. Sin embargo, puesto que cabía la posibilidad de que esta variable incidiera sobre la anidación sólo durante algún(os) periodo(s) se hicieron correlaciones con varios intervalos. Así por ejemplo, se obtuvieron coeficientes significativos con las temporadas comprendidas entre 1987 y 1990 ( $r = -0.94$ ,  $p = 0.05$ ), sin embargo el signo de los coeficientes sugiere que la relación fue casual.

Las regresiones realizadas con la precipitación pluvial estacional indicaron que el efecto de esta variable en la anidación ocurrió en la misma temporada (Fig IV.14). Los coeficientes de correlación obtenidos a partir de los valores de la primavera e invierno fueron significativos al 95% de confianza (Tabla IV 20), aunque en el primer caso los datos estuvieron sesgados por la ausencia de lluvias de 1998. En los otros dos periodos, los parámetros de las regresiones fueron similares, y la proporción de la varianza de la anidación explicada por la precipitación estacional varió entre el 17 y el 21%.

Tabla IV.20.- Parámetros de las regresiones simples obtenidas entre la anidación y las variables ambientales. Claves:  $r^2$ = coeficiente de determinación;  $r^2_{aj}$ = coeficiente de determinación ajustado,  $p$ =confianza (%),  $m$ ; pendiente,  $b$ = ordenada al origen.

Temperatura								
Estación	Año	Int.	$r^2$	$r^2_{aj}$	$p$	$m$	$b$	N
Primavera	i+1	1978-1998	0.15	0.10	0.09	137.60	35.24	20
Invierno	i+1	1978-1998	0.37	0.33	0.004	208.94	61.22	20
Otoño	i	1978-1998	0.27	0.22	0.02	199.91	27.65	20
Verano	i	1978-1998	0.25	0.20	0.03	214.11	10.55	20

Precipitación								
Estación	Año	Int.	$R^2$	$r^2_{aj}$	$p$	$m$	$b$	N
Primavera	i+1	1978-1998	0.22	0.17	0.038	-1.02	234.28	20
Invierno	i+1	1978-1997	0.23	0.18	0.037	0.86	-52.03	19
Invierno	i+1	1978-1996	0.25	0.21	0.032	0.82	-62.29	18

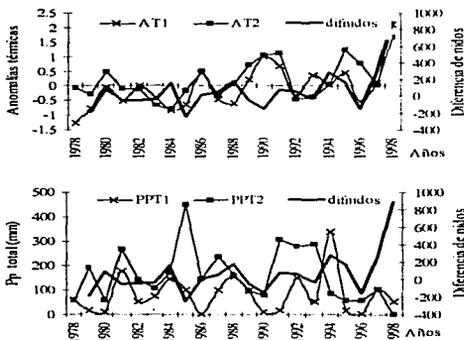


Fig. IV.14.- Variación anual de la diferencia de nidos ( $\Delta N$ ) en la zona de Rancho Nuevo las anomalías térmicas (AT) y la precipitación pluvial total (PPT) del invierno (1) y la primavera (2) en la zona de anidación

Los coeficientes de determinación obtenidos de los análisis realizados con los promedios estacionales del MEI sugieren que la abundancia de la anidación fue afectada por el ENSO, porque a diferencia de las anomalías térmicas, cuyos resultados fueron sesgados por los valores de 1997 y 1998, los análisis elaborados con el MEI del intervalo 1978-1996, arrojaron resultados significativos entre el valor del índice en el año  $i$  y la diferencia  $\Delta N$  registrada en el año subsecuente ( $i+1$ ).

El promedio primaveral también arrojó resultados significativos al 95% (1978-1996) y al 90% de confianza así como el otoñal (1978-1997), aunque este último fue menos constante. En todos los casos las pendientes fueron positivas y la proporción de la varianza explicada varió entre el 16 y 43% (Tabla IV.21).

Tabla IV.21.- Parámetros de las regresiones simples obtenidas ante la variación de la abundación y el valor del índice MEI promediado en intervalos estacionales. Las claves se incluyen en la tabla IV.21.

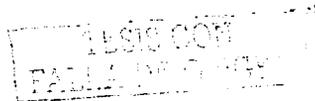
Año	Estación	r <sup>2</sup>	r <sup>2</sup> <sub>aj</sub>	p	m	b
1978-1998 N=20						
i+1	Verano	0.0002	-0.055	0.95	63.97	3.97
	Primavera	0.15	0.10	0.9	105.75	-11.38
	Invierno	0.21	0.16	0.04	105.54	11.17
I	Otoño	0.28	0.25	0.014	143.75	-3.69
	Verano	0.46	0.43	0.001	173.98	-21.04
	Primavera	0.15	0.10	0.094	107.78	-0.90
	Invierno	0.001	-0.05	0.87	-9.77	70.17
1978-1997 N=19						
i+1	Verano	0.05	-----	0.33	36.59	2.49
	Primavera	0.05	-----	0.35	38.70	-3.42
	Invierno	0.02	-----	0.60	20.04	14.23
I	Otoño	0.10	0.05	0.17	58.16	-0.399
	Verano	0.21	0.16	0.04	85.37	-10.11
	Primavera	0.17	0.12	0.07	71.99	-19.95
	Invierno	0.04	-----	0.38	34.45	6.21
1978-1996 N=18						
i+1	Verano	.00002	-----	0.98	-0.84	8.29
	Primavera	0.03	-----	0.48	27.76	-9.66
	Invierno	0.05	-----	0.34	34.63	-7.59
I	Otoño	0.20	0.15	0.059	75.44	-24.36
	Verano	0.36	0.32	0.008	103.83	-35.19
	Primavera	0.34	0.30	0.01	93.09	-51.07
	Invierno	0.13	0.07	0.13	55.26	-20.96

Existieron algunas diferencias entre los coeficientes de correlación r de los tres periodos, así por ejemplo, el coeficiente obtenido entre el MEI de verano del año i y el intervalo 1978-1998 fue de 0.67 y el de 1978-1997 de 0.45 (no mostrados en la Tabla IV.21), sin embargo, no fueron relevantes porque el nivel de significancia de la prueba de t-student utilizada en la comparación varió entre 0.3 y 0.9.

Los coeficientes obtenidos de las correlaciones cruzadas no fueron significativos, excepto cuando la serie del MEI se retraso un año, lo cual fue equivalente al año i analizado en párrafos anteriores.

Los resultados de las correlaciones realizadas con la adición, paso a paso, de los datos de cada una de las temporadas al periodo base 1998-1995, mostraron que hubo coeficientes significativos ( $p < 0.05$ ) y positivos con los promedios estacionales del año i, excepto con el otoño. La mayoría de los coeficientes significativos se obtuvieron al adicionar a la serie de tiempo los años comprendidos entre 1987 y 1997.

Estos resultados sugieren que el ENSO influyó de manera positiva en la abundancia de esta especie, inferida a través de la cantidad de nidos, aunque no permiten determinar la forma en la



que esto ocurre. Por otra parte, también es probable que esta relación estadística se haya derivado de la coincidencia entre la tendencia creciente de la anidación a partir de 1990 y la presencia casi constante de condiciones similares al Niño en ese período (Trenberth y Hoar, 1996).

En contraste, los análisis realizados con el índice del PNA no arrojaron resultados significativos, a pesar de que este patrón afecta el Norte y NO del Golfo de México (Wallace y Gutzler, 1981; White y Downton, 1991). Mientras que el Índice de la Oscilación del Atlántico Norte sólo arrojó resultados significativos al 90% de confianza en los períodos 1978-1998 y 1978-1996. En el primer caso la correlación fue significativa con el promedio primaveral del año  $i$  ( $r^2=0.188$ ;  $p=0.05$ ;  $N=20$ ), pero la pendiente fue negativa. En el segundo intervalo la única variable que mostró cierta relación con la diferencia de la anidación fue el promedio otoñal del año  $i$ , pero la pendiente fue positiva ( $r^2 = 0.165$ ;  $p = 0.09$ ;  $N = 18$ ).

Cabe mencionar que cuando los indicadores se desfazaron más de un año se obtuvieron coeficientes significativos con algunos promedios estacionales de los índices de la NAO y el PNA, pero los resultados sólo parecen evidenciar la tendencia cíclica de las variables.

En las regresiones múltiples elaboradas entre los valores estacionales y la  $\Delta N$ , los coeficientes de determinación más altos se obtuvieron con los promedios del invierno y la primavera del año  $i+1$ , y con los valores de otoño y verano cuando se utilizaron los promedios del año  $i$ . Las variables más relevantes fueron las anomalías térmicas, la precipitación estacional total y el MEI, cabe señalar que también fue importante el PNA, aunque es probable que se deba a su elevada correlación con el MEI.

### *Distribución espacial*

#### *Distribución de los individuos*

La dispersión de la distribución de cada uno de los 132 individuos identificados fue muy amplia (Fig. IV.15), por lo que los coeficientes de variación (CV) fueron grandes. El recorrido de las ubicaciones se encontró entre 2 y 34 km (Tabla IV.22)

Aproximadamente la tercera parte de las hembras mostró preferencia por alguna de las zonas, puesto que el 29% de las hembras sólo fueron observadas al Norte y el 6% al Sur de Rancho Nuevo (Fig. IV.15)

**Tabla IV.22.- Valores extremos de los parámetros estadísticos descriptivos calculados con los datos de 132 hembras. Los mínimos y máximos de cada parámetro no corresponden al mismo individuo.**

	Media	Desviación Estándar	Recorrido	Coefficiente de variación
Mínimo	-9.71	0.83	2.1	-242.96
Máximo	9.37	11.48	34.3	2788.72

La distribución de frecuencias de las ubicaciones de más del 90% de las hembras fue aproximadamente normal ya que los coeficientes  $Z$ , resultantes de la prueba de normalidad, se encontraron en el intervalo limitado por  $\pm 1.96$ . No obstante, debe considerarse que el tamaño de las muestras fue pequeño, ya que varió entre 7 y 22 observaciones por hembra. Las ubicaciones de cada uno de los individuos cuya distribución fue normal, fueron expresadas como anomalías con respecto a la ubicación promedio de ellos mismos ( $A_1$ ); estos registros fueron tipificados como

extremos ( $A_e$ ) cuando estaban fuera del intervalo limitado por los valores  $\pm 1$ , el cual fue equivalente a la primera desviación estándar.

El signo de las anomalías no refleja la zona de la playa en la que una hembra fue avistada, sino las variaciones de sus ubicaciones en relación con el promedio, así por ejemplo, una hembra presentó una anomalía negativa cuando en un día en particular fue avistada al Sur de su ubicación promedio, independientemente que se estuviera al Norte o Sur de Rancho Nuevo.

La suma de las proporciones de  $A_e$  positivas y negativas varió entre el 22 y 34%, puesto que mostraron pequeñas diferencias entre las temporadas (Tabla IV.23), las cuales sólo fueron significativas en 1989, cuando una mayor cantidad de hembras se localizaron al Norte de su ubicación promedio. En algunas temporadas, particularmente a partir de 1993, fue mayor el número de anomalías negativas lo que coincidió con el desplazamiento al Sur del percentil del 25% (Fig. III.13).

Las variaciones de las diferencias entre las proporciones correspondientes a ambas anomalías, coincidieron con los desplazamientos netos de las temporadas 1992-1996, descritos en el Capítulo III, los cuales evidenciaron el incremento de la anidación hacia el Sur en ese periodo.

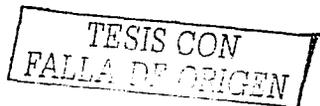
Tabla IV.23.- Ubicaciones anómalas detectadas en las observaciones de 120 hembras. La probabilidad de que la proporción de anomalías positivas y negativas no sean diferentes, esta incluida en la tercera columna.

Año	Anomalías negativas (%)	Anomalías positivas (%)	Contraste p	Hembras	Obs.
1988	13.59	12.62	0.8	50	103
1989	4.04	18.18	0.02	54	99
1990	12.59	12.59	1.0	69	135
1991	18.1	10.47	0.1	59	105
1992	14.53	15.81	0.7	95	234
1993	17.99	12.23	0.2	66	139
1994	17.37	14.78	0.7	91	190
1995	19.81	15.09	0.4	53	106

Por otro lado, de las 12 hembras cuyas ubicaciones no se distribuyeron normalmente ( $H_1$ ), 4 fueron observadas en el Norte, 1 en el Sur y 7 en ambas zonas (Tabla IV.24). Los porcentajes que estos datos representaron no fueron significativamente diferentes de los observados con las 120 hembras restantes, ya que el nivel de confianza (p) promedio correspondiente a la prueba de t utilizada para comparar ambas proporciones fue de 0.7.

Las anomalías extremas fueron escasas y varias hembras se presentaron tanto al Norte, como al Sur de su ubicación promedio, aún en fechas cercanas, como ocurrió con la tortuga AA323/ J1412 observada entre 1992 y 1994 (Tablas IV 24 y IV 26 )

Por otra parte, la proporción que correspondió a cada uno de los dos tipos de anomalías de las hembras  $H_2$  en las 8 temporadas (Tabla IV.25) difirió de la del resto de las tortugas por lo que el coeficiente obtenido del análisis de correlación entre ellas no fue significativo ( $r = 0.34$ ;  $N = 8$ ;  $p = 0.40$ ). Aunque posiblemente esto fue consecuencia del tamaño de la muestra, también es probable que los patrones de distribución de esas hembras hayan diferido del resto de la población.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

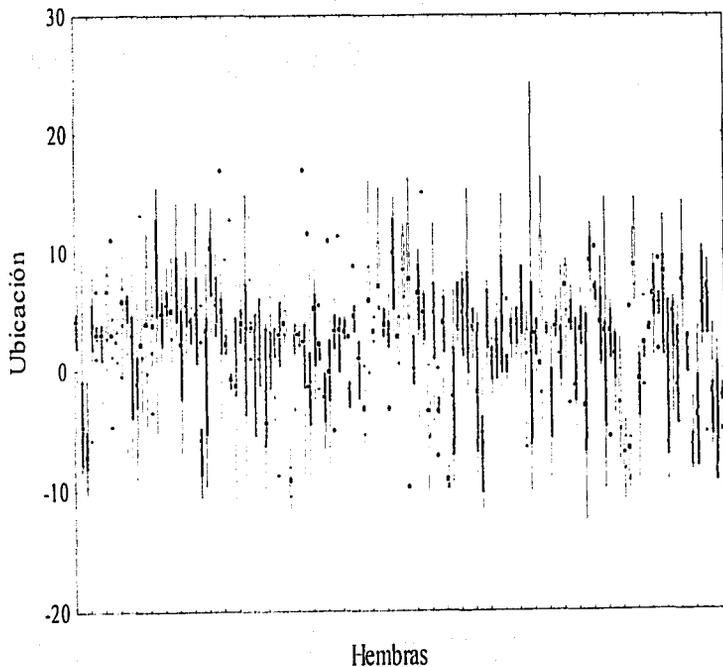


Fig. IV.15.- Variaciones de la distribución espacial de 132 hembras observadas entre 1988 y 1995. Cada hembra es representada por una caja.

Tabla IV.24.- Características de las ubicaciones de las hembras con distribución no normal ( $H_4$ ). El valor de las anomalías está en relación con su ubicación media. Algunos individuos fueron marcados con grapa metálica varias veces en el transcurso de las temporadas por lo que se muestra la secuencia.

Ident.	Individuo	Estacas		Anomalía negativa	Normal	Anomalía positiva	Obs
		negativas	positivas				
1	AA263/ T1643/ K0180	2	14	2	12	2	16
2	AA337/ J1779/ J1808/ J1146/ T1480	2	10	2	10		12
3	T1605/ T1303		10	1	9		10
4	T1711/ J1711	8	2	1	8	1	10
5	J1561	1	8	1	8		9
6	AA403/ J1873/ T1763/ T1279/ G8275	1	7	1	6	1	8
7	T1880/ T00426/ T00661		8		7	1	8
8	AA230 J1352	7		1	5	1	7
9	AA323 J1412		7	1	5	1	7
10	J1387/ T1387/ J1080/ T1699	3	4		6	1	7
11	T00941		7		6	1	7
12	T1224	1	6	1	6		7
Total		25	83	11	88	9	108

Tabla IV.25.- Anomalías de las hembras con distribución no normal.

Año	Anomalías negativas	Anomalías positivas	Obs.
	(%)	(%)	
1988	8.3	0	12
1989	0	17.6	17
1990	0	10	10
1991	21.4	0	14
1992	10.5	10.5	19
1993	13.3	20	15
1994	6.3	6.3	16
1995	20	0	5

Para determinar si las hembras cuya distribución no se ajustó a la curva normal, se dispersaron aleatoriamente o sólo alguna de sus ubicaciones estaba fuera del área "normal", se identificaron y eliminaron las anomalías extremas antes de rehacer la prueba de normalidad. En todos los casos, los coeficientes Z se encontraron dentro del intervalo limitado por los valores  $\pm 1.96$ , lo cual sugirió que las ubicaciones anómalas fueron eventos puntuales. Para apoyar esta hipótesis, se correlacionaron los porcentajes de las anomalías positivas de las hembras con distribución normal y no normal a las que se les eliminaron las  $A_n$ . El coeficiente resultante fue significativo ( $r = 0.74$ ;  $N = 8$ ;  $p = 0.03$ ) a pesar del pequeño tamaño de la muestra.

Tabla IV.26.- Hembras cuya distribución de frecuencias no fue normal ( $H_1$ ). La mayoría fueron etiquetadas más de una vez con la marca metálica. Se destacan en negritas las anomalías extremas.

Hembra	km	Marca	Fecha	Anom.	Hembra	km	Marca	Fecha	Anom.
1	0.6	K0180	25-IV-88	-0.76	6	5.1	T1279	23-IV-89	0.75
1	-2	K0180	12-V-88	-1.37	6	2.4	T1279	22-V-89	-0.04
1	5.1	K0180	18-V-88	0.55	6	3.5	T1763	29-IV-91	0.28
1	2.7	K0180	7-VI-88	-0.15	6	1.2	T1763	22-V-91	-0.39
1	7.8	K0180	3-V-89	1.33	6	-5.1	J1873	4-V-93	-2.22
1	3.6	K0180	3-VI-89	0.11	6	6	J1873	2-VI-93	1.01
1	3.6	K0180	3-VI-89	0.11	6	3	J1873	22-VI-93	0.13
1	3.9	T1643	29-V-90	0.20	6	4.2	AA403	15-V-94	0.48
1	7.2	T1643	24-V-90	1.16	7	2.4	T00426	2-V-88	-0.74
1	2.1	K0180	19-IV-92	-0.32	7	2.7	T00426	7-VI-88	-0.67
1	6	T1643	9-V-92	0.81	7	14.8	T00426	23-IV-89	2.25
1	3.9	AA263	23-IV-94	0.81	7	4.2	T00426	22-V-89	-0.31
1	4.5	AA263	17-V-94	0.38	7	1.8	T00426	7-VI-89	-0.89
1	1.5	AA263	17-V-94	-0.50	7	5.4	T00426	28-IV-90	-0.02
1	4.2	AA263	29-V-95	0.29	7	6	T00426	24-V-90	0.13
1	-6	AA263	12-VI-95	-2.67	7	6.5	T1880	20-IV-91	0.25
2	6.3	T1480	22-V-89	0.53	8	-9.3	J1352	25-V-92	0.27
2	4.2	T1480	15-VI-89	-0.01	8	-9.9	J1352	25-V-92	-0.12
2	-1.4	J1146	21-V-91	-0.73	8	-9.5	J1352	25-V-92	0.14
2	0	J1808	8-VI-91	-1.09	8	-12.9	AA240	7-V-94	-2.11
2	6.3	J1146	14-VI-91	0.53	8	-9	AA230	13-V-94	0.47
2	5.7	J1779	25-V-92	0.37	8	-9.3	AA230	20-V-94	0.27
2	-7	J1779	24-VI-92	-2.78	8	-8.1	AA230	22-VI-94	1.07
2	5.7	J1808	8-VI-93	0.37	9	5.1	J1412	19-IV-92	0.08
2	-4.5	J1808	2-VI-93	0.07	9	4.6	J1412	25-V-92	-0.06
2	6.6	J1808	22-VI-93	0.60	9	0.9	J1412	22-V-93	-1.03
2	6.3	AA337	7-V-94	0.53	9	12.9	J1412	25-V-93	2.12
2	6.3	AA337	24-V-94	0.53	9	3.6	AA323	24-V-94	-0.32
3	9.3	T1303	24-IV-89	2.69	9	3.3	AA323	24-V-94	-0.4
3	3.6	T1303	22-V-89	0.29	9	3.3	AA323	24-VI-94	-0.4
3	3	T1303	22-V-89	0.04	10	-0.3	T1387	4-V-89	-0.6
3	1.8	T1303	15-VI-89	-0.47	10	1.2	T1699	24-V-90	0.08
3	1.2	T1605	6-V-91	-0.72	10	0.9	J1080	21-V-91	-0.06
3	2.7	T1605	16-IV-92	-0.09	10	-0.3	J1080	14-VI-91	-0.6
3	1.5	T1605	6-V-92	-0.59	10	-0.9	J1080	5-V-91	-0.88
3	2.7	T1605	25-V-92	-0.09	10	0.9	T1387	10-V-93	-0.06
3	1.5	T1605	8-VI-93	-0.59	10	5.7	J1387	2-VI-93	2.12
3	1.8	T1605	19-V-95	-0.47	11	3.3	T00941	8-VI-88	-0.11
4	-1	T1711	29-IV-91	-0.21	11	3	T00941	26-VI-92	-0.43
4	-8	T1711	21-V-91	-1.57	11	3.9	T00941	26-VI-88	-0.07
4	-2	T1711	14-VI-91	-0.33	11	3	T00941	26-V-90	-0.43
4	13	J1711	25-V-92	2.50	11	3.3	T00941	4-VI-92	-0.31
4	-2	J1711	8-V-93	-0.27	11	3	T00941	16-V-92	2.23
4	-0	J1711	1-VI-93	-0.04	11	2.4	AA776	15-V-89	-0.67
4	-1	J1711	24-V-94	-0.09	12	4.8	T1224	22-IV-89	0.55
4	-0	J1711	30-VI-94	-0.04	12	3.8	T1224	22-V-89	0.31
4	-1	J1711	16-V-95	-0.15	12	-6.5	T1224	6-VI-91	-2.19
4	0.9	J1711	11-VI-95	0.20	12	3.3	T1224	9-V-92	0.19
5	1.1	T1109	12-V-88	-0.52	12	6	T1224	25-V-92	0.84
5	1.5	T1109	12-V-88	-0.35	12	3.6	T1224	10-V-93	0.26
5	3.3	T1109	8-VI-88	0.39	12	2.7	T1224	2-VI-93	0.04
5	-4.2	T1505	23-IV-90	0.76					
5	-4.5	T1505	24-V-90	0.89					
5	2.4	T1505	26-V-90	0.02					
5	3.9	T1505	26-V-90	0.64					
5	3.6	J1561	9-V-92	0.52					
5	-3	J1561	29-V-92	-2.33					

En los párrafos anteriores se mostró que cada una de las tortugas anida en un área en particular, por lo que es probable que ésta coincida o difiera con la de del resto de la población. Para determinar el grado de coincidencia en la selección de las áreas de anidación se comparó la proporción de anomalías extremas ( $A_e$ ) que presentaron las 132 tortugas en relación con su propia

distribución ( $A_1$ ) y con la de la población en cada una de las ocasiones en las que se presentaron sobre la playa ( $A_p$ ).

En el primer caso, la distribución fue aproximadamente normal con una proporción media del 25% y una desviación estándar del 10% (Fig. IV.16A). Lo cual sugiere que en 1 de cada 4 avistamientos la hembra se encontró fuera de su área "preferida". En contraste, la forma de la distribución de las anomalías de las ubicaciones de las hembras con las del resto de la población no se ajustó a la normal (Fig. IV.16B), puesto que en aproximadamente la tercera parte de las hembras (43), sólo el 10% de las anomalías fueron extremas.

La mayoría presentó entre el 20 y 50% de anomalías extremas y sólo el 14.5% más del 60%. Esto sugiere que existe una amplia gama de preferencias en las hembras por anidar en un área común, desde las que anidan en el 90% de las ocasiones en esa zona, hasta las que no fueron observadas allí.

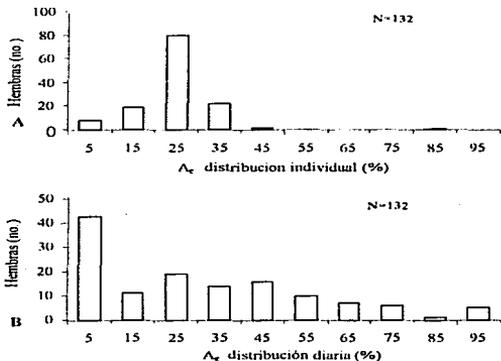
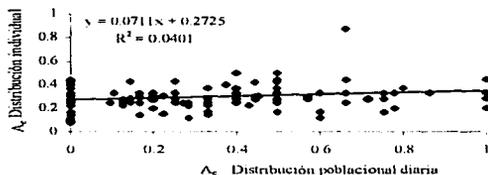


Fig. IV.16.- Distribución de frecuencias de las anomalías extremas  $A_e$  que presentaron las hembras en relación con sus propios nidos (A) y con la población (B). El punto medio de los intervalos de frecuencia esta en el eje de las abscisas.

Esta información no permite determinar que factores influyen en esta conducta, aunque en la figura IV.17 se aprecia que la proporción de las  $A_e$  correspondientes a la distribución de los individuos fue independiente de la proporción de las anomalías sobre la distribución de la población ( $A_p$ ), lo cual sugiere que hay un control interno en la selección de las áreas de anidación y que una pequeña cantidad de individuos presentó patrones que difirieron del resto de la población.

Fig. IV.17.- Relación entre la proporción de las  $A_c$  correspondientes a la distribución de los individuos y la proporción de las anomalías sobre la distribución de la población ( $p > 0.05$ ).



#### Relación entre la ubicación de los nidos y el viento.

En los párrafos anteriores y en el Capítulo III se describió que la mayoría de las hembras desovan en algunas áreas de la playa, la mayoría de las cuales están ubicadas al Norte del campamento de Rancho Nuevo. Los cambios más conspicuos a lo largo de las temporadas, estuvieron asociados con el incremento de la abundancia por lo que las pequeñas variaciones que ocurrieron dentro de cada año fueron atribuidas al efecto del ambiente. Empíricamente se ha mencionado que el viento es la variable más influyente.

En consecuencia, con el propósito de apreciar visualmente la relación entre la preferencia por un área de la playa y el viento se adicionaron los vectores de esta variable, representados por las flechas, a las gráficas de superficie de las temporadas 1994-1998.

Las variaciones en la proporción de hembras que anidaron en el Sur estuvieron relacionadas con la dirección del viento, como lo muestran las gráficas (Fig IV 18) y las tablas de contingencia (Tabla IV.27). La anidación fue mayor cuando dominaron los vientos asociados<sup>1</sup> al Norte, aunque con algunas excepciones, como la del 11 de junio de 1998, cuando una elevada cantidad de nidos fueron depositados en el Sur bajo el flujo constante del viento del SE.

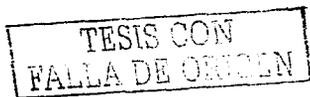
Tabla IV.27.- Número de hembras detectadas al Norte y Sur del Campamento de Rancho Nuevo ( $\pm 10$  km) en 152 arribaciones ocurridas entre 1982 y 1998. Bajo las denominaciones "N" y "SE" se incluye una amplia gama de direcciones (ver texto).

Dirección del Viento	Sur (Tortugas)	Norte (Tortugas)	Total (Tortugas)	Sur (%)	N (arribaciones)
Calma	292	463	755	38	12
N	1528	2065	3593	42	38
SE	2375	4387	6762	35	102

Tablas de contingencia

Viento	Tamaño	N <sup>2</sup>	E-I	p.
C, N, SE	3x2	23.42	3	<0.001
C, SE:	2x2	0.67	2	>0.05

<sup>1</sup> En el texto se hace referencia a vientos "asociados" al N y SE, para lo que se agruparon los vientos N, NE, NNE, NNO y NO así como E, ENE, ESE, SE y SSE, respectivamente. Los vientos "dominantes" hacen referencia a alguna de las direcciones en particular.



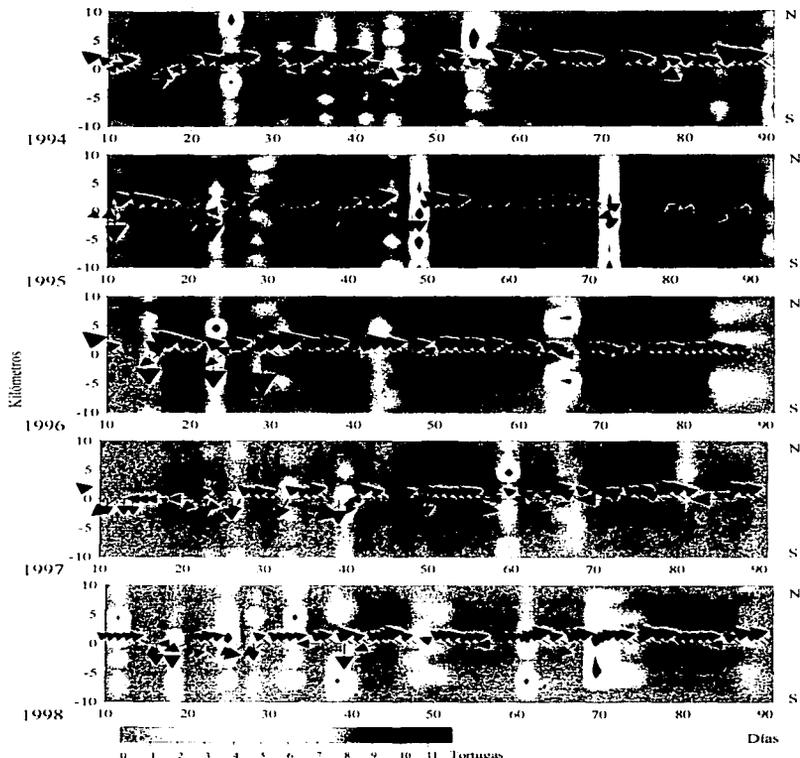


Fig. IV.18.- Distribución espacial de las tortugas sobre la playa en el intervalo  $\pm 10$  km . Rancho Nuevo es el origen (0). La longitud y el grosor de la punta de la flecha son proporcionales a la velocidad y apunta hacia donde se dirige el viento.

La comparación de las frecuencias observadas en cada zona de la playa bajo las direcciones dominantes, mostró que la abundancia de las hembras al Sur del campamento de Rancho Nuevo fue mayor en los días con vientos dominantes del N, NO y NNE; mientras que ocurrió lo contrario, cuando prevalecieron las direcciones SSE y ESE (Tabla IV.28 y IV.29).

La proporción de anidaciones depositadas en el Sur con viento del SE fue ligeramente superior (37%) a la que se presentó en otros días, cuyo viento dominante estuvo asociado a esa dirección (e.g. ESE); sin embargo, esas diferencias posiblemente estuvieron determinadas por el tamaño de la muestra (Tabla IV.29).

Tabla IV.28.- Distribución de las tortugas con vientos del Norte.

Viento	Sur (no.)	Norte (no.)	Total (no.)	Sur (%)	N (arribazones)
N	1092	1315	2407	45	24
NE	146	396	542	26	6
NNE	174	236	410	42	5
NNO	22	34	56	39	1
NO	94	84	178	52	2

Tablas de contingencia					
Viento	Tamaño	$\chi^2$	g.l.	P	
N,NE,NNE,NNO,NO	5x2	69.59	4	<0.001	
N,NE,NNE,NNO	4x2	61.69	3	<0.001	
NE,NNE,NNO	3x2	25.79	2	<0.001	
NNE,NNO	2x2	3.97	1	0.046	

En contraste, la proporción observada con el viento del NE (26%) fue similar a la del ESE (28%) Cabe señalar que esa dirección fue dominante en unas cuantas arribazones y la mayoría se presentó cuando el régimen de los alisios estaba establecido

Tabla IV.29.- Distribución de las tortugas con vientos del Sureste.

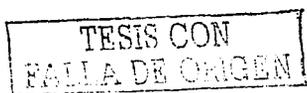
Viento	Sur (no.)	Norte (no.)	Total (no.)	Sur (%)	N (arribazones)
ENE	61	125	186	32	4
E	365	752	1117	32	14
ESE	297	752	1049	28	19
SE	1643	2721	4364	37	64
SSE	9	37	46	19.5	1

Tablas de contingencia					
Viento	Tamaño	$\chi^2$	g.l.	P	
ENE,E,ESE,SE,SSE	5x2	41.38	4	<0.001	
ENE,E,ESE,SE	4x2	40.07	4	<0.001	
ENE,E,SE	3x2	11.86	3	0.007	

Los días con direcciones asociadas con el N y SE fueron agrupados de manera similar a lo mostrado en la Tabla IV.28, para comparar la distribución bajo diferentes velocidades del viento. Las diferencias en la proporción de la anidación depositada al Sur de Rancho Nuevo fueron más conspicuas cuando las velocidades variaron entre 3 y 4 m/seg (Tabla IV.30).

Las diferencias en la distribución fueron mayores cuando se compararon las direcciones dominantes N y SE. Sin embargo, las variaciones fueron menores bajo las diferentes velocidades que presentó el viento del Norte (Tabla IV.31), excepto cuando fue de 5 m/seg, ya que



aparentemente el tamaño de la muestra influyó en los resultados. Esto sugiere que la distribución fue menos afectada por la velocidad que por la dirección.

Tabla IV.30.- Anidación depositada en el Sur y Norte de la playa con vientos asociados al N y SE.

Dirección	Nidos	Velocidad (m/seg)				Total
		2	3	4	5	
Norte	Sur (no.)	509	617	261	141	1528
	Norte (no.)	776	746	292	251	2065
	Sur (%)	39.6	45.3	47.2	35.9	42.5
	N (arribazones)	14	14	7	3	38
Sureste	Sur (no.)	1423	750	202		2375
	Norte (no.)	2924	1085	378		4387
	Sur (%)	32.7	40.9	34.8		35.12
	N (arribazones)	59	34	9		102

También se comparó la proporción de organismos observados en las zonas ubicadas al Norte y Sur de Rancho Nuevo en función de la dirección del viento dominante en las arribazones del intervalo 1982-1998 (Fig. IV.19)

Tabla IV.31.- Anidación (%) depositada al Sur de Rancho Nuevo con vientos dominantes del N y SE.

Dirección del viento	Velocidad (m/seg)				
	2	3	4	5	N
Norte	47.55	46.5	49	36	
N (arribazones)	5	11	5	3	24
Sureste	35.89	41.8	36		
N (arribazones)	3.5	22	7		64

Tablas de contingencia				
Velocidad Viento Norte (m/seg)	Tamaño	$X^2$	g.l.	P
2,3,4,5.	482	17.42	3	0.0005
2,3,4.	382	0.78	2	0.67
Viento Sureste				
2,3,4	382	13.67	2	0.001
2,4	282	0.003	1	0.95

En esas temporadas la proporción de las arribazones que se presentaron cuando los vientos dominantes fueron del SE y N, presentó amplias oscilaciones (Fig. IV.19B). Después de extraer el valor de 1998, la tendencia de la proporción de días con viento SE fue negativa, ( $r = -0.24$ ,  $p = 0.35$ ;  $N = 16$ ), aunque poco significativa, posiblemente por la amplitud de las fluctuaciones registradas entre 1982 y 1998.

La reducción de la proporción de las arribazones con viento SE fue notoria en abril y mayo de 1986, en 1991 y 1992, así como en 1995. En junio sólo hubo una pequeña reducción a principios de los 80's. En contraste, a partir de 1990 hubo un ligero incremento en el número de arribazones que se efectuaron con vientos del Norte, particularmente en abril, sin embargo, la amplitud de las oscilaciones, no permitieron describir alguna tendencia (Fig. IV.19).

El coeficiente de correlación obtenido entre el porcentaje de las arribazones que ocurrieron con vientos del N y E-SE fue negativo ( $r = -0.89$ ;  $p = 2E-06$ ;  $N = 17$ ); aunque, es probable que haya resultado del aumento de las arribazones en abril y mayo, cuando aún se presentan los Nortes.

El análisis de correlación múltiple elaborado entre la abundancia de los nidos y el porcentaje de las arribazones que se presentaron bajo diferentes direcciones del viento (Tabla IV.32) mostró que la abundancia fue más influyente que el viento en los dos intervalos analizados. Los días sin viento también estuvieron significativamente relacionados, en contraste con los días en los que dominó el viento del Norte y del Sur-Sureste.

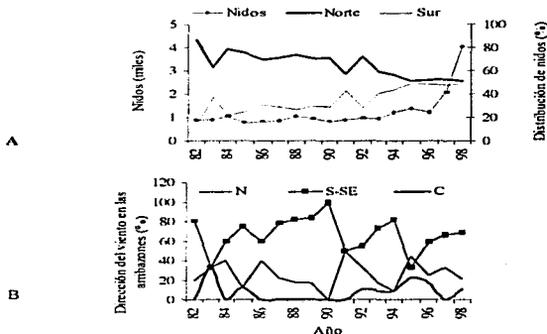


Fig. IV.19.- Variaciones de la distribución de los nidos y de la dirección del viento dominante durante las arribazones. A) Proporción de la anidación depositada en el Norte y Sur de Rancho Nuevo y abundancia de los nidos. B) Viento dominante en las arribadas. Los datos se expresaron en porcentaje para amortiguar las diferencias en el número de arribazones entre las temporadas.

Tabla IV.32.- Parámetros de las regresiones múltiples elaboradas con la abundancia de los nidos depositados al Sur de RN, el número total de nidos, los días sin viento y con dominancia de vientos del SE y del Norte. Se muestran las variables con resultados significativos en el análisis por pasos.

	Intervalo 1982-1998		Intervalo 1982-1998		t(13)	p
	Beta	Error estándar de Beta	B	Error estándar de B		
Ordenada			-123.6	42.79	-2.8	0.01
Nidos	0.92	0.063	0.248	0.017	14.4	2E-09
Calma	0.16	0.064	164.62	62.45	2.6	0.02
Norte	0.06	0.063	71.48	71.01	1.0	0.33

Tabla IV.32.- Continuación...

Intervalo 1982-1996:  $r = 0.884$ ;  $r^2 = 0.782$ ;  $r^2_{aj} = 0.746$ ;  $F_{(2,12)} = 21.6$ ;  $p < 0.001$   $N = 15$

	Beta	Error estándar de Beta	B	Error estándar de B	t(13)	p
			1982-1996			
Ordenada			235.86	78.04	-3.02	-0.01
Nidos	0.72	0.147	406.78	82.86	4.90	0.0003
Calma	0.29	0.147	130.31	65.08	2.00	0.068

Estos resultados apoyan la hipótesis de que los cambios de la abundancia al sur de Rancho Nuevo entre temporadas están ligados con la abundancia de la población.

## DISCUSION

### *Distribución en el tiempo*

#### *Factores relacionados con la migración hacia la playa de Rancho Nuevo. Temperatura.*

Las hembras se alimentan en el Norte y Sur del Golfo de México (Chávez *et al.*, 1967; Pritchard, 1969; Márquez, 1994), de donde se dirigen a la playa de Rancho Nuevo para desovar. La migración de un individuo (Renaud *et al.*, 1996) permite suponer que el desplazamiento de las hembras es más o menos continuo, sobre áreas poco profundas de la plataforma continental, durante el invierno y principio de la primavera (Mc Daniel *et al.*, 2000). A pesar de que el comportamiento de un individuo difícilmente se puede generalizar al resto de la población, la escasez de información sobre las tortugas marinas, permite utilizarlo como un indicador de la forma en que se desplazan.

Esa tortuga inició su migración desde Galveston (Texas, EE.UU.) con rumbo SO en noviembre de 1994, entre ese mes y los primeros días de enero se desplazó lentamente, en las siguientes semanas estuvo vagando frente a Laguna Madre (México), aunque posteriormente se movió con mayor rapidez para llegar a las inmediaciones de Tampico a mediados de marzo. El primer nido lo depositó el 23 de abril y el segundo el 19 de mayo en los kilómetros +12.9 y +8.7 respectivamente (Márquez, *com. pers.*) En apoyo a esta descripción, el Atlas de distribución de la tortuga lora en Texas (Manzella y Williams, 1992) y los reportes de varamientos (Steiner y Schmitt, 1994; Teas, 1994, 1995), mostraron que las tortugas abundaron en la costa de Texas en primavera y a finales de verano, posiblemente a consecuencia de su desplazamiento hacia y desde Rancho Nuevo.

Estos desplazamientos podría estar relacionados con la temperatura superficial marina puesto que en las cinco temporadas analizadas se detectaron diferencias significativas que fue posible relacionar con la abundancia de la nidación mensual y el número de arribaciones; así por ejemplo, cuando la temperatura fue relativamente elevada al final del invierno y el inicio de la primavera, la mayoría de las hembras anidó en abril y mayo, en arribaciones abundantes. De manera similar Morreale y Standora (1999) describieron los movimientos migratorios de los juveniles de tortuga lora a lo largo de la costa Este de EE.UU. y los asociaron con los cambios en la temperatura superficial marina en la plataforma continental.

Por otra parte, también se apreciaron cambios latitudinales. En el área comprendida al Norte del paralelo 24, las diferencias interanuales fueron más evidentes en las tasas de calentamiento entre

invierno y primavera, así como en los gradientes espaciales que en la temperatura en sí. En el primer caso, la relación con la anidación y las arribazones fue positiva, mientras que en el segundo, negativa, probablemente porque los gradientes fueron mayores cuando el frente térmico estuvo presente. Es factible que la presencia de anticiclones en el talud continental desplace agua fría del NO hacia el litoral tamaulipeco.

Entre los paralelos 21 y 23 °N las tasas de calentamiento y los gradientes espaciales fueron semejantes, contrario a lo ocurrido con la temperatura mensual, cuyas diferencias fueron significativas entre los años. Sin embargo, puesto que las condiciones en esa región fueron "benignas", porque en ninguna temporada fueron menores a los 22°C, quizá sean menos importantes para las hembras que se alimentan en el Sur del Golfo de México.

***Hipótesis acerca de la influencia de las corrientes marinas sobre la migración de las hembras entre las áreas de alimentación y desove.***

Durante el otoño e invierno, los adultos que se alimentan en el Norte del Golfo podrían estar desplazándose hacia Rancho Nuevo como se describió en la sección anterior (Renaud *et al.*, 1996; Mc Daniel *et al.*, 2000). En ese periodo la circulación en el Norte y Noroccidente del Golfo presenta características que favorecen las migraciones de los adultos.

En la plataforma de Texas y Luisiana el sistema invernal de corrientes es dominado por un giro ciclónico que llega hasta el río Bravo (Cochrane y Kelly, 1986), por lo que el rumbo dominante de la circulación costera es hacia el suroeste (Tabla IV.33) y aunque en las inmediaciones de la frontera México-EE UU puede haber cambios súbitos en la dirección, asociados con eventos meteorológicos y el aporte estuarino, aparentemente hay continuidad en el flujo entre Texas y Tamaulipas, como se desprende del Capítulo 1 y de Barron y Vastano (1994).

Las condiciones invernales ocurren desde octubre hasta finales de abril; durante ese lapso la temperatura sobre la plataforma continental fue más baja que en la zona oceánica adyacente y se presentó un frente térmico sobre el borde de la plataforma comprendida entre Tamaulipas y Texas, mientras que el rumbo dominante de la corriente sobre el talud fue hacia el Noreste y sobre la plataforma hacia el Sur.

En los años analizados en el Capítulo 1, el vértice de ese frente térmico se mantuvo más o menos constante entre los paralelos 23 y 24 °N, ubicados frente a la playa de anidación. No obstante, cerca de la costa la corriente con dirección Sur podría prolongarse a Veracruz (Vidal *et al.*, 1988) o incluso llegar hasta Tabasco (Zavala *et al.*, 2002).

La circulación invernal podría facilitar el traslado de las tortugas hacia Rancho Nuevo. Sobre el supuesto de que la velocidad de 18 cm/seg (15.5 km/día) es representativa, una partícula a la deriva recorrería los 324 km existentes entre la frontera México-EEUU. y la zona de anidación en aproximadamente 21 días, mientras que las tortugas a velocidad de crucero (24- 29.5 km/día según Meylan, citada por Wyneken, 1997) tardarían entre 11 y 14 días. Puesto que la migración dura varios meses, la diferencia entre ambos intervalos no es significativa y el empuje de las corrientes les permitiría ahorrar energía.

La migración y el desove representan un fuerte gasto energético para *L. kempi* porque la biomasa invertida en los huevos es elevada (20% en promedio, según Márquez, 1996) y cuando empieza el desove se alimentan muy poco o permanecen en afaga (Hirth, 1971; Owens, 1980; Márquez, datos no publicados). La conservación de energía debe ser valiosa para esta especie porque sus

ciclos reproductivos son cortos (anuales o bianuales) y deben recuperar la biomasa perdida durante la reproducción y formar una nueva cantidad de huevos en unos cuantos meses, en comparación con otras especies que invierten un menor porcentaje de biomasa en los huevos y cuyos ciclos reproductivos varían entre 3 y 5 años (Márquez, 1996).

En el verano la advección de la plataforma de Texas y Luisiana hacia el SO se reduce, puesto que el patrón de vientos y la distribución del rotacional cambian (Gutiérrez de Velasco y Winant, 1996; Gutiérrez de Velasco, 1996), lo cual favorece la dirección Norte de la circulación costera, así como una corriente de frontera a lo largo del talud. La inversión del rumbo de la corriente dominante en la plataforma podría contribuir al retorno de las hembras hacia las áreas de alimentación del Norte del Golfo.

Tabla IV.33.- Algunas características de las corrientes costeras de Texas y Tamaulipas.

Sitio	Velocidad (cm/seg)	Fecha de la medición	Dirección	Autores	Obs.
Freeport, Tx	99 ± 8	27/III/1989	SO	Barron y Vastano (1994)	
Matagorda, Tx	31 ± 19	22/IV/1989	SO	Barron y Vastano (1994)	
Soto la Marina (24°N)	18	I/1984	S	Vidal et al. (1988)	Medida a 30 m de profundidad
Río Bravo (26°N)	60	X-XI/1988	S	Vidal et al. (1990)	

*Llegada de las hembras a la playa. ¿Dentro de un intervalo o a lo largo de la temporada?*

En el Capítulo III se discutió la posibilidad de que las hembras llegaran a la playa en un grupo grande al final del invierno y principio de la primavera, o en pequeños conjuntos a lo largo de toda la temporada. Ambas opciones podrían repercutir en las estimaciones de la frecuencia de anidación anual (FA) y en consecuencia, en las inferencias sobre la abundancia poblacional. En el primer caso, la FA sería mayor que en el segundo, cuando se esperaría que fuera cercana a la unidad.

Un argumento que apoya la hipótesis de que las hembras llegan dentro de un periodo determinado, es la relación inversa entre la abundancia de la anidación de abril y junio, porque si llegaran continuamente las variaciones mensuales serían menores.

Por otra parte, si se parte del supuesto de que las áreas de alimentación del Norte del Golfo son las más importantes, las secreción hormonal (Rostal et al., 1997; Rostal et al., 1998), el intervalo entre la fecundación y el primer desove (Owens, 1997) así como el sistema de corrientes costeras, permiten suponer que las hembras arriban a la zona dentro un lapso que podría iniciar desde la segunda quincena de febrero o la primera de marzo, y prolongarse hasta los primeros días de mayo, cuando termina el régimen invernal de las corrientes costeras en Tamaulipas y se desvanece el giro ciclónico sobre la Bahía de Campeche.

La breve etapa de transición que presenta la circulación costera entre los periodos invernal y veraniego (Fernández-Eguarte et al., 1998), coincidió con el término del intervalo en el que la mayoría de las hembras multiparas depositaron el primer nido, lo cual permite suponer que podría limitar la llegada de las tortugas. Si bien esto puede ser una casualidad, también es probable que el cambio en el rumbo de la corriente (de Sur a Norte) facilite el retorno de las hembras que solo depositan un nido por temporada y que representan aproximadamente al 40% de la población. Por otra parte, a pesar de que son excelentes nadadoras (Wyneken, 1997), el gasto de energía sería

mayor si continuaran arribando a finales de mayo, cuando la dirección de la corriente dominante es hacia el Norte (CFE, 1993).

En la Bahía de Campeche el giro ciclónico invernal se desvanece en abril (Monreal y Salas, 1990; Scheinbaum *et al.*, 1997), lo que podría facilitar la migración de las hembras que se alimentan en esa región, cuya llegada estaría ligeramente desfasada de las que provienen del Norte del Golfo.

En apoyo a la segunda hipótesis, cabe mencionar que las variaciones existentes en los intervalos entre las anidaciones sucesivas entre las temporadas, como se discutió en el Capítulo III, podrían ser explicadas, al menos parcialmente, si las hembras llegaron a lo largo de toda la temporada. Es probable que las hembras que se incorporen a la población anidadora en abril o mayo, presenten intervalos entre anidaciones más cortos que los de las hembras que llegaron antes.

La información disponible permite suponer que la mayoría de las hembras llega en período determinado. El sistema de corrientes marinas, por otro lado, permite suponer que las hembras que se alimentan en el Norte y Sur del Golfo de México arriba de manera desfasada.

#### *Variables relacionadas con el inicio de la temporada de anidación.*

El inicio de la temporada de anidación probablemente depende de factores biológicos y ambientales, puesto que hubo una relación inversa entre la llegada de las primeras tortugas a la playa y la primera arribazón, lo cual muestra que algún factor interno establece la regularidad con la que se produce este evento.

Por otra parte, la temperatura superficial marina y el viento presentaron relaciones significativas con la primera arribazón. En el primer caso, los análisis indican que los eventos se presentaron después de que se alcanzó un valor umbral (cerca de los 23 °C) o de un incremento brusco, cuando la temperatura era menor, ya que las curvas de tolerancia estimadas con los registros semanales sugieren que la temperatura mínima a la cual se producen las arribaciones posiblemente sea ligeramente superior a los 20°C. Cabe mencionar que aunque estas curvas se elaboraron sólo con tres temporadas, las características meteorológicas extremas de 1996 y 1998 permiten suponer que son representativas de las condiciones bajo las cuales anidan las hembras de *L. kempi*.

Los análisis de las variaciones meteorológicas en los días previos a la primera arribazón mostraron que varios días antes, pero particularmente el anterior, se incrementó la varianza y se redujo la magnitud del componente Este-Oeste del viento, lo cual sugiere que las hembras podrían ser estimuladas por esta variable para desovar.

En contraste, la temperatura del aire aparentemente fue menos importante dada la puntualidad con la que se presentó la primera arribazón, aún en años fríos. Lo cual fue corroborado por los resultados de las correlaciones entre la temperatura promedio mensual y las anomalías con la fecha de la primera anidación, los cuales indicaron que la primera arribazón no estuvo relacionada con las condiciones meteorológicas promedio de abril.

#### *Anidación. Formación de arribaciones.*

Los análisis de correlación mostraron que la ecuación de Gauss describe la relación entre la abundancia de las anidaciones sobre un gradiente térmico; de esas curvas se desprende que la temperatura superficial marina más propicia para la anidación se encuentra entre los 23 y 28°C aproximadamente, intervalo que coincidió con el reportado por Coyne *et al.* (1998) con una muestra de 331 tortugas (22-32 °C) encontradas en la costa de Texas y Tamaulipas.

Los dos intervalos obtenidos con los registros semanales probablemente reflejen las condiciones bajo las cuales se forman las arribazones y permite relacionarlas con las características de las temporadas. Así por ejemplo, en 1996 las primeras arribazones se produjeron con temperaturas variables entre los 21 y 22 °C, y la mayoría de los nidos se depositaron en mayo y junio. Sin embargo, los registros que podrían formar la primera curva estuvieron dispersos y el coeficiente de correlación no fue significativo, lo cual sugiere que ese año los mecanismos fisiológicos detonaron la anidación, aún cuando las condiciones térmicas eran menos propicias que en otras temporadas. En 1997 y 1998, años con inviernos templados, los primeros eventos ocurrieron alrededor de los 23 °C y la curva estuvo bien definida, lo que muestra que en esas temporadas las condiciones favorecieron la agrupación de las hembras. La segunda curva, cuyo intervalo óptimo se ubicó alrededor de los 26 ó 27 °C, coincidió con las arribazones más abundantes, las cuales fueron más frecuentes en mayo.

El intervalo óptimo de la temperatura del aire para la anidación fue similar al reportado para la TSM y puede considerarse como representativo de la preferencia de las hembras, dada las pruebas realizadas con los registros de la Estación Meteorológica de Soto la Marina. Por otra parte, los resultados de los análisis de la oscilación de la temperatura del aire diaria y la diferencia entre días consecutivos indican que las hembras prefieren desovar en días con condiciones templadas, cuya oscilación diaria fue menor a 6°C y en los cuales se produjo ligera disminución de la temperatura del aire con respecto al día anterior.

Si bien estos análisis muestran los rangos en los cuales se favorece la anidación no explican su periodicidad. En ese sentido, los análisis de series de tiempo muestran que el desove y la temperatura del aire, y en menor medida el viento, son cíclicos y están correlacionados. Sin embargo, la forma en que las hembras advierten estos cambios no es clara; la mayoría de las tortugas marinas se asolean flotando en la superficie (Dodd, 1988, Sapsford, y van der Riet, 1979; Spotila *et al.*, 1997), lo que les permitiría percibir las fluctuaciones térmicas o el efecto de éstas en la presión atmosférica. No obstante, los seguimientos por telemetría indican que la tortuga lora se mantiene en la superficie durante intervalos muy cortos (Renaud, 1995), la mayoría menores a 10 segundos (Mendoza y Pritchard, 1986, Byles, 1989), por lo que es inusual detectarla flotando enfrente de la playa de Rancho Nuevo y no se han reportado flotillas bogando mar adentro, posiblemente por su baja densidad poblacional (Márquez, *com pers.*), en contraste con lo que ocurre con otras especies, como la golfinia (Márquez *et al.*, 1976, Peñaflores, *com pers.*).

Se ignora el comportamiento de esta especie en el mar, por lo que no es posible establecer una hipótesis sobre la forma en que las hembras detectan las oscilaciones de la temperatura del aire, ya que las propiedades caloríficas del agua amortiguan las fluctuaciones atmosféricas. Sin embargo, en la zona nerítica la capa de mezcla pierde calor rápidamente durante el paso de los frentes fríos (Mann y Lazier, 1996) lo cual podría ser notado por las tortugas.

Los cambios de la temperatura del aire posiblemente estén ligados a modificaciones en otras variables, tales como la nubosidad y la insolación, ya que las tres tuvieron el mayor peso en el primer componente, resultante de los análisis de componentes principales elaborados con las variables meteorológicas registradas durante la temporada de anidación. Es probable que los cambios de la iluminación asociados con la cobertura nubosa, pudieran ser detectados por las tortugas con mayor facilidad que los de la temperatura del aire, aunque hay que destacar que estos cambios posiblemente sean más sutiles en las últimas temporadas, cuando la nubosidad ha disminuido.

En contraste, las fluctuaciones horarias de las variables meteorológicas, mismas que no fueron analizadas en este trabajo, deben ejercer alguna clase de influencia en la preferencia por anidar en horas específicas. En algunas temporadas se percibieron cambios significativos en la distribución temporal antes, durante y después de las arribaciones, lo cual sugiere que las oscilaciones a esta escala deben contribuir a modular la distribución de las hembras aunque posiblemente su participación como estímulo para detonar el desove sea menor, puesto que la oscilación diaria y las diferencias entre días consecutivos no arrojaron resultados significativos cuando fueron correlacionadas con la ocurrencia de la anidación.

Algunos de los periodos detectados en la dirección y velocidad del viento fueron coherentes con los de la anidación, aunque su relevancia fue menor que los de temperatura. La percepción de estas oscilaciones posiblemente sea más fácil, ya que el viento modifica rápidamente las corrientes superficiales, mientras que el agua tiende a desfasar y amortiguar los vaivenes de la temperatura (Grant, 1972).

En la costa del Golfo de México el régimen diurno dominante es el de brisas (Gutiérrez de Velasco, 1996), por lo cual hay alternancia a lo largo del día en la dirección del viento hacia y desde la tierra dependiente de las diferencias de temperatura y presión existentes entre el margen continental y el mar (Barry y Chorley, 1987). El flujo hacia el mar es más intenso durante la madrugada cuando la temperatura sobre la tierra es menor, que en las primeras horas de la tarde, cuando ocurre lo contrario. Este tipo de régimen podría favorecer la llegada de las hembras a medio día cuando empieza a dominar el flujo mar-tierra modificando el oleaje y las corrientes litorales y contribuyendo a la termorregulación de las hembras durante su estancia en la playa.

Sin embargo, aunque el ambiente contribuye a regular estos eventos, la elevada correlación entre la abundancia y el número de arribaciones señala que hay mecanismos biológicos involucrados, como se discutió en el Capítulo III, donde se mencionó que la comunicación entre los individuos probablemente se lleva a cabo por la excreción de diversas sustancias (Mason, 1992; Márquez, 1994), cuya dispersión debe depender de las características del medio. Las corrientes superficiales son uno de los mecanismos por lo que se dispersa la materia orgánica disuelta (MOD) y particulada (MOP) en la capa de mezcla. El forzamiento del viento favorece este proceso a través de procesos convectivos (Smith, 1976), mientras que otras características, tales como la ubicación de la termoclina, las ondas internas y los frentes también influyen en la distribución espacial de la MOD (Bowden, 1975; Raymont, 1980). Por lo tanto, las variables ambientales también podrían haber afectado la comunicación entre los individuos, particularmente en las temporadas en la que la abundancia fue pequeña.

#### *Frecuencia de anidación dentro de las temporadas.*

Una elevada proporción de las hembras desovan más de una vez en cada temporada; el seguimiento con telemetría mostró que algunas se desplazan hacia el Sur de Tamaulipas y que retornan a las inmediaciones de Rancho Nuevo poco antes del segundo o tercer desove (Mendoza y Prichard, 1986).

Los periodos en los que probablemente cada nido fue más abundante fueron: la tercera semana de abril, en el caso del primero; las dos últimas semanas de mayo, en el de la segunda anidación y después de la segunda semana de junio, para el tercer nido. Cada uno de ellos coincidió con características particulares del ambiente; los primeros se depositaron cuando la temperatura superficial marina alcanzó un determinado valor, se presentaron los últimos Nortes y prevaleció la

circulación costera hacia el Sur. Posteriormente, cuando el segundo nido fue más frecuente, cambió el régimen de vientos y desapareció el frente térmico invernal por lo que la temperatura superficial marina de la plataforma continental tendió a homogeneizarse durante algunos días. Mientras que en el período en el que se depositó el tercer nido, la circulación costera dominante era hacia el Norte, se presentó un afloramiento moderado y la temperatura del aire era menos variable. Es probable que la regularidad con que se presentan estas condiciones, favorezca el desarrollo de los embriones y contribuya a determinar la proporción de sexos en las crías.

Sin embargo, los factores que detonan cada anidación son desconocidos, si bien las características fisiológicas individuales podrían ser el primero de ellos. En numerosos procesos biológicos cíclicos existen variables ambientales que funcionan como "señales" o zeitgeber, para sincronizarlos.

Puesto que las hembras de *L. kempi* se dispersan sobre la extensa área entre anidaciones y las arribaciones ocurren simultáneamente en los poco más de 100 km que mide la playa, es posible suponer que las variaciones del zeitgeber deberían ser similares en la región. Por lo tanto, se partió de la hipótesis de que los cambios de la temperatura superficial marina, la del aire y el viento, asociados a eventos con amplia cobertura geográfica podrían ser utilizados con este propósito.

Las imágenes de satélite incluidas en el Capítulo I muestran diferencias latitudinales a lo largo de la costa de Tamaulipas y Veracruz, resultantes de fenómenos meteorológicos locales, la posición de los anticiclones y los escurrimientos continentales; por lo que es probable que las variaciones no sigan tendencias paralelas en toda la región, lo que dificultaría el papel de la TSM como zeitgeber. En contraste, se han descrito ciclos diarios en la temperatura del aire, semejantes a los detectados en la zona de anidación, en otros puntos de la costa del Golfo (Salas *et al.*, 1992), por lo que es probable que las tortugas puedan percibirlos lejos de Rancho Nuevo.

Asimismo, los cambios en la dirección y velocidad del viento ocurren de manera más o menos simultánea en el occidente del Golfo. Los diagramas de Gutiérrez de Velasco (1996) muestran que los vientos del E y SE dominan sobre toda la región y que no presentan cambios latitudinales significativos, porque el rotacional del viento es positivo durante todo el año y la misma isolinia cruza la plataforma del Norte de Veracruz, el Centro y el Sur de Tamaulipas.

La semejanza de algunos ciclos de la temperatura del aire y el viento así como la coherencia entre los armónicos de estas variables y los de la anidación, permiten suponer que ambas podrían servir como zeitgebers y explicar la sincronía con la que ocurre el desove a lo largo de los poco más de 100 km que mide la playa de anidación. Los análisis también permiten concluir que la temperatura es la variable más importante.

Cabe la posibilidad de que cuando los organismos estén dispersos los eventos de mayor cobertura geográfica y los ciclos de la temperatura del aire, el viento y en menor medida, las corrientes marinas, podrían ser utilizados como estímulos, mientras que cuando se acercan a la playa podrían cobrar importancia los fenómenos asociados con estas variables, pero de carácter local, tales como el régimen de brisas, las variaciones en la iluminación e incluso la precipitación pluvial que, aunque no fue analizada en este trabajo, ha sido relacionada empíricamente (Villanueva, 1977).

## *Distribución en el espacio.*

### *Ubicación de la colonia.*

Las condiciones meteorológicas son más benignas en Rancho Nuevo, comparadas con las prevalencias en Soto la Marina y Punta Jerez, ubicadas en los límites Norte y Sur del área en la que la anidación es más abundante, lo que posiblemente favoreció el establecimiento de la colonia en esa franja en particular.

En Soto la Marina el clima es más cálido y seco, mientras que hacia Punta Jerez es más húmedo. Esto podría repercutir en el sedimento y alterar la capacidad de las tortugas para excavar el nido, así como la sobrevivencia de los embriones. Por otra parte, las temperaturas registradas en Soto la Marina, casi 2 °C mayores que en Rancho Nuevo, posiblemente afecten la capacidad de termorregulación de las hembras durante el proceso de desove.

Es probable que la hidrodinámica y las características térmicas de la región también hayan favorecido la sobrevivencia de la colonia en Rancho Nuevo. Es plausible que las variaciones estacionales en el sistema de corrientes costeras propicien la llegada y salida de las hembras de la playa y que este sistema sea menos notorio en las áreas en las que la anidación fue menos abundante.

Los cambios más conspicuos en la zona de anidación estuvieron relacionados con la ubicación del vértice del frente térmico que se presenta periódicamente en la costa de Tamaulipas y que resulta de la influencia anticiclónica y el régimen de vientos. Durante el verano, la corriente asociada al frente estuvo más cercana a la costa en las inmediaciones de la zona de anidación, mientras que en su recorrido hacia el Norte, se alejó paulatinamente antes de insertarse en la plataforma de Texas.

En esos meses el flujo constante de los alisios genera un afloramiento moderado por lo que las corrientes superficiales tienden a ser perpendiculares a la costa. Esto favorecería el transporte de las crías hacia la corriente asociada al frente, la cual las traslada hacia el N y NO del Golfo de México (Collard y Ogren, 1990), en donde frecuentemente se encuentran giros ciclónicos de elevada productividad (Mueller-Karger y Walsh, 1991, Biggs, 1992).

La temperatura superficial marina, aparentemente fue más estable en el área comprendida entre los paralelos 23 y 24 °N, puesto que la tasa de calentamiento no presentó cambios significativos en los 5 años analizados, en contraste con lo detectado en la costa Norte de Tamaulipas, en donde esa tasa presentó variaciones anuales bien definidas.

En este trabajo no se compararon las características ambientales de la región de Rancho Nuevo con las de Lechuguillas y las de Isla Padre en donde presumiblemente también existían colonias de tortuga lora, por lo cual no es posible establecer hipótesis generales sobre las condiciones que favorecen su establecimiento. Sin embargo las condiciones descritas en Rancho Nuevo deben haber prevalecido el tiempo suficiente para favorecer la sobrevivencia de la población que anida en esta localidad a diferencia de las otras dos colonias.

### *Distribución sobre la playa.*

Las tortugas se caracterizan por su fidelidad a la zona de anidación; no obstante, la posición de las hembras sobre la playa puede variar a lo largo de la temporada. El seguimiento de hembras marcadas indica que la mayoría prefirió anidar sobre una franja determinada, que en algunos casos

fue amplia, como se desprende de la desviación estándar de las ubicaciones de las 132 hembras analizadas.

Los nidos depositados fuera de la primera desviación estándar de su ubicación promedio, consideradas como anomalías extremas, aparentemente fueron una respuesta a circunstancias puntuales. El 40% correspondió a días en los que no hubo arribazones, lo cual podría sugerir que las hembras presentaban un comportamiento diferente al usual, ya que cuando fueron incapaces de anidar, los intentos sucesivos se hicieron cerca de la ubicación de las anidaciones fallidas. También es probable que la existencia de depredadores o alguna característica individual, haya contribuido a modificar la distribución. No obstante, esto no puede ser comprobado con la información disponible.

Cabe mencionar que los observadores no parecen afectar la selección de las áreas para anidar, puesto que la proporción de hembras que fallaron en algún intento no estuvo correlacionada con la proporción de hembras observadas y la mayoría de estas tortugas anidaron muy cerca de la zona en la cual se malogró el desove

Sin embargo, al contrastar la desviación de cada uno de los nidos de cada hembra en relación con su propia distribución y con la del resto de la población se encontró que un pequeño porcentaje, cercano al 15%, no se distribuyó acorde con el resto de las tortugas. Las variaciones que esa proporción introduce en la distribución de las hembras podría contribuir a incrementar el área sobre la cual anidan y la sobrevivencia de alguno de esos nidos, particularmente cuando la cantidad de hembras sobre la playa es muy grande.

Aunque, la mayoría de las tortugas se distribuyeron preferentemente al Norte del campamento de Rancho Nuevo, las pequeñas variaciones que se presentan dentro de cada temporada estuvieron asociadas con el viento, ya que los resultados muestran que cuando soplaron vientos provenientes del Norte durante las arribazones, se incrementó el número de hembras en el Sur, aunque en ningún caso la proporción detectada en esa zona rebasó a la del Norte. También fue evidente que la dirección fue más influyente que la velocidad y es posible que la persistencia de un rumbo determinado contribuya a orientar a las hembras.

El efecto del viento fue puntual, puesto que el incremento constante de la anidación en el Sur en el lapso de estudio, fue paralelo al de la abundancia. En ese periodo hubo pequeños cambios en el patrón del viento, pero estos no estuvieron relacionados con los cambios de la distribución entre las temporadas

Para realizar los análisis, la dirección del viento se redujo de manera simplista a las categorías de Norte y Sur, sin embargo la distribución de las hembras sobre la playa fue uni y multimodal, por lo que es probable que además del viento, las corrientes litorales, la topografía de la playa y las condiciones del sedimento, hayan contribuido a definir la selección de las áreas de desove

***Hipótesis sobre el efecto de las corrientes marinas en la migración de las hembras y las áreas de anidación a las áreas de alimentación.***

Como se estableció en el Capítulo I, la fase de verano de la circulación en el centro y Norte de Tamaulipas, se inició entre la tercera o cuarta semana de mayo y terminó en septiembre. Durante este periodo la dirección dominante de la corriente sobre la plataforma fue hacia el Norte y Noreste, impulsada por el arrastre de los vientos alisios y la influencia del campo de circulación anticiclónico.

En ese lapso la diferencia de temperatura entre la plataforma y la zona oceánica fue menor que durante el invierno, ya que la constancia del flujo de los alisios favoreció un afloramiento moderado, lo que podría incrementar la productividad primaria de la zona y contribuir a la alimentación de las crías durante los primeros días.

Las corrientes de verano favorecerían la migración de los adultos y de las crías hacia las zonas de alimentación del NO del Golfo de México, en donde es frecuente encontrar a los giros ciclónicos que se generan cuando los anticiclones se encuentran en esta área y que se caracterizan por su elevada productividad primaria y pesquera, como fue descrito en el Capítulo I.

La relación entre la circulación veraniega y la dispersión de las crías ha sido ampliamente discutida por Collard, (1987) y Collard y Ogren (1990), aunque estos autores, hicieron referencia a la corriente de frontera que se encuentra fuera de la plataforma, sin embargo, de acuerdo a este trabajo, la corriente costera se desplaza con ese mismo rumbo, lo cual sería favorable para las crías, porque no tendrían que atravesar la plataforma para alcanzarla. Por otra parte el arrastre de esa corriente facilitaría la recuperación de las hembras, ya que los lavados estomacales que se han realizado durante los desoves mostraron que estaban vacíos, lo cual sugirió que permanecieron en ayuno durante algún tiempo (Márquez, com. pers.)

#### *La anidación y los fenómenos atmosféricos de escala global.*

Los eventos atmosféricos de escala global pueden afectar a la población anidadora de dos maneras. La primera esta relacionada con su efecto sobre las condiciones ambientales en el área de anidación y los corredores migratorios durante el desplazamiento y el desove de las hembras; mientras que la segunda, con el efecto sobre las áreas de alimentación y desarrollo de la población en las diferentes fases del ciclo de vida.

En la zona de anidación, los análisis estadísticos y de series de tiempo detectaron el efecto negativo del ENSO y el PNA; aunque en el primer caso, con un retraso de aproximadamente 5 meses, lo cual contrastó con los eventos asociados al PNA, que se manifestaron de inmediato. Por otro lado, la influencia de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) no fue evidente, probablemente porque afecta en mayor medida el NE del Golfo y porque dominó su fase positiva durante la mayor parte del periodo de estudio, la que propicia inviernos templados y que posiblemente contrarrestó el efecto del ENSO durante la década de los 90's.

Los resultados de los análisis no mostraron relación entre los fenómenos atmosféricos globales y la TSM promedio de los corredores migratorios ubicados entre los paralelos 21 y 27 °, probablemente porque la longitud de la serie de tiempo (5 años) fue insuficiente para detectar alguna relación

No obstante, quizá el efecto principal de estos eventos en las hembras maduras sea sobre la distribución mensual de las hembras sobre la playa, puesto que en la primavera de 1993, después de que habían prevalecido valores del MEI superiores a la unidad en 13 de los 22 meses anteriores, la temperatura invernal del Sureste de EE.UU. y Norte del Golfo de México fue muy baja. En marzo, el Sureste de EEUU fue afectado por la denominada "Tormenta del siglo" y en la primavera se presentaron algunas de las inundaciones más grandes del Mississippi. Los análisis de la sección anterior, mostraron que en Rancho Nuevo la anidación se retrasó a consecuencia de las bajas temperaturas de los corredores migratorios

En 1989, cuando la anidación también se retrasó, las condiciones fueron diferentes, puesto que desde el verano de 1988 hasta la primavera de ese año dominaron condiciones de "Niña", en las cuales se presentan condiciones contrarias a las del ENSO, que fueron acompañadas con un gran número de huracanes en el otoño de 1988, uno de los cuales fue "Gilberto", que modificó la fisiografía de la playa y la distribución de las hembras el año siguiente. De acuerdo con el MEI y el índice del PNA era posible suponer que las características térmicas de los corredores migratorios en 1989 serían moderadas y no frías como ocurrió; no obstante, como se mencionó en el Capítulo II, hay diferencias entre cada evento ENSO y anti-ENSO (Hoerling y Kumar, 1997; Kumar y Hoerling, 1997), dependientes de la duración y extensión del evento, de su interacción con fenómenos atmosféricos de gran escala, de la variabilidad regional y de la no-linearidad de las teleconexiones (Livezey et al., 1997).

Por otra parte, también se esperaba que la abundancia de las hembras anidadoras estuviera ligada con las oscilaciones de los índices, sobre la base de que los fenómenos atmosféricos modifican las condiciones del hábitat y el alimento disponible. Se suponía que durante los años ENSO(+) y +NAO la abundancia de las hembras maduras sería mayor, sin embargo, aunque los análisis estadísticos efectuados la cantidad de nidos y el MEI fueron positivos cuando el índice se desfasó un año, los que se realizaron con los otros dos indicadores no fueron significativos.

En comparación con el trabajo de Limpus y Nicholls (1988, 1990), quienes reportaron la influencia negativa del ENSO en la abundancia de tortuga blanca, los resultados permitieron suponer que las condiciones ambientales de las zonas de alimentación propiciaron el incremento de la población, probablemente porque el aumento de la precipitación y la escorrentía relacionados con el ENSO y el PNA, repercutieron positivamente en productividad de la plataforma continental. Sin embargo, no es posible descartar la posibilidad de que las fluctuaciones de la abundancia sean independientes de este tipo de eventos.

#### *Otras relaciones.*

La temperatura ambiental de cada temporada, además de influir en la distribución mensual de las hembras sobre la playa, también podría afectar la diferenciación sexual de las crías. El impacto inmediato en la población posiblemente dependa de la abundancia de las hembras entre abril y mayo, periodo en el que los cambios térmicos son más acusados; sin embargo, es probable que los ciclos decadales de la temperatura del aire y la precipitación, detectados en la zona también modifiquen de alguna manera la proporción de sexos de la población.

### CONCLUSIONES

1. La distribución mensual de las hembras de *L. kempi* en la playa de anidación de Rancho Nuevo estuvo relacionada con las condiciones térmicas en los corredores migratorios comprendidos entre los paralelos 24 y 27 °N

La temperatura superficial marina (TSM), la tasa de calentamiento de esta variable entre el invierno y primavera, así como los gradientes térmicos entre la costa y la zona oceánica modificaron la distribución mensual de la anidación. En temporadas con inviernos templados o con elevadas tasas de calentamiento, la anidación fue mayor en abril y/o mayo; mientras que, cuando las condiciones fueron frías, las hembras tendieron a desovar a finales de mayo o en junio, de manera similar, cuando los gradientes térmicos fueron acusados la anidación se retrasó, aunque la información disponible no permitió explicar esta relación.

2. La anidación no estuvo correlacionada con las condiciones térmicas del área ubicada entre los 21 y 23°N, donde la temperatura invernal fue templada y las tasas de calentamiento no variaron significativamente.
3. La circulación costera invernal de la plataforma continental de Tamaulipas, caracterizada por la advección de las masas de agua desde la plataforma de Texas, probablemente contribuye al ahorro de energía de las hembras de *L. kempi* que migran desde la plataforma continental del Norte Golfo de México, hasta Rancho Nuevo.
4. Se plantea que una elevada proporción de las hembras llega a la playa de anidación desde los últimos días de febrero hasta los primeros días de mayo. Esta hipótesis se sustenta en los estudios de la biología reproductiva de *L. kempi* de otros autores y en los siguientes argumentos:
  - 4.1.- En mayo se presenta una etapa de transición en la circulación costera de Tamaulipas, en la que el rumbo dominante de la corriente cambia de Sur a Norte. Ese lapso podría limitar la llegada de las tortugas desde las áreas de alimentación del Norte del Golfo, ya que el gasto energético sería mayor si migraran cuando el rumbo dominante de las corrientes es hacia el Norte.
  - 4.2.- El sistema de corrientes costeras de verano se estableció en las últimas semanas de mayo y coincidió con el final del periodo en el cual probablemente se depositó el primer nido, lo que podría favorecer el traslado de las hembras que sólo anidan una vez hacia las zonas de alimentación de Texas y Luisiana.
  - 4.3.- Las características térmicas de los corredores migratorios estuvieron correlacionadas con la distribución temporal de las hembras sobre la playa.
5. Los mecanismos que detonaron la primera arribazón posiblemente sean una combinación de factores biológicos y ambientales. La regularidad con la que se presenta este evento (22 de abril  $\pm$  6 días), que da inicio a la temporada de anidación, muestra el control fisiológico del proceso de desove. No obstante, es probable que el viento y la temperatura superficial marina propicien la primera arribazón y determinen las variaciones entre temporadas, ya que se incrementó la varianza de los componentes Este-Oeste y Norte-Sur del viento en el día inmediato anterior y durante el evento. Por otro lado, estas agrupaciones se presentaron con una TSM cercana a los 23 °C, valor que podría considerarse como umbral, o con un incremento súbito de esta variable cuando la temperatura fue menor.
6. Las arribazones se forman cuando el ambiente es favorable, como lo muestran las curvas de tolerancia que relacionan la abundancia de las hembras sobre la playa con los gradientes de la temperatura superficial marina, la temperatura del aire, la dirección y la velocidad del viento. Las temperaturas óptimas marina y del aire, se encontraron entre los 23 y 28°C. Por otra parte, los resultados de los análisis de la oscilación de la temperatura del aire diaria y de la diferencia entre días consecutivos, indicaron que las hembras prefirieron desovar en días templados, cuya oscilación diaria fue menor a 6 °C y en los cuales se produjo una ligera disminución de la temperatura del aire con respecto al día anterior.
7. La anidación presentó variaciones cíclicas, algunos de cuyos periodos fueron coherentes con los de la temperatura del aire y el viento. Lo cual permite suponer que estas dos

últimas variables podrían sincronizar los relojes internos de las tortugas cuando se encuentran en el mar, aún en el caso de que se encuentren lejos de la zona de anidación, como ocurre en algunos individuos que depositan más de un nido por temporada, ya que los ciclos de la temperatura y el viento han sido descritos para otras localidades del Golfo de México. La forma como las tortugas podrían percibir los cambios cíclicos de la temperatura del aire y el viento es poco clara; sin embargo, es probable que estas variaciones se manifiesten a través de cambios en las corrientes superficiales y la temperatura superficial marina.

8. La preferencia de las hembras de *L. kempi* por desovar en las inmediaciones del poblado de Rancho Nuevo, ubicado en el centro de la playa de anidación, la que a su vez está limitada al Norte por el río Soto la Marina y al Sur por Punta Jerez, probablemente estuvo determinada por las características climáticas y oceanográficas de la zona. Aunque las series de tiempo analizadas fueron cortas, mostraron que en las fronteras Norte y Sur, las condiciones fueron más secas y húmedas, respectivamente, lo cual podría repercutir en la construcción del nido y el desove, así como en la sobrevivencia de los embriones.

Por otro lado, la temperatura superficial marina de la plataforma continental ubicada entre los paralelos 23 y 24 °N, permaneció estable en invierno y primavera, en comparación con los corredores migratorios, que presentaron mayores variaciones, mientras que la hidrodinámica fue favorable para la migración de los adultos y la dispersión de las crías.

9. Aunque las hembras de *L. kempi*, como las de otras tortugas marinas, se caracterizaron por su fidelidad a la playa de anidación, las multiparas depositaron sus nidos en áreas más grandes que otras especies, como lo mostró el desplazamiento absoluto. Asimismo, el análisis de la distribución de 132 tortugas dentro y entre las temporadas, sugirió que cada una de ellas anidó sobre un área determinada, la cual en algunos casos (15%) no coincidió con el resto de la población. Por el contrario, el 30% de las tortugas mostró variaciones similares, lo que indica que esas hembras definieron los patrones de distribución y lo que arbitrariamente se denominó como desplazamiento "neto".
10. La anidación siempre fue mayor al Norte del campamento de Rancho Nuevo. El incremento de los nidos hacia el Sur fue el cambio más evidente entre las temporadas y estuvo correlacionado con la abundancia. Otras modificaciones estuvieron asociadas con la ocurrencia de eventos extraordinarios, tales como los huracanes.
11. Dentro de las temporadas, la dirección del viento influyó en la distribución de las hembras sobre la playa. La anidación al Sur de Rancho Nuevo fue mayor durante los Nortes, mientras que ocurrió lo contrario cuando el viento fluyó del SE.
12. Los eventos climáticos de escala global, El Niño la Oscilación del Sur (ENSO) y el Patrón Pacífico- Norteamérica (PNA), disminuyeron la temperatura en el área de anidación durante la migración y el desove, por lo que es probable que hayan incidido en la distribución mensual de las hembras sobre la playa de algunas temporadas.
13. Los cambios en el hábitat introducidos por el ENSO aparentemente se relacionaron de manera positiva con la abundancia de las hembras maduras. No obstante, en la década de los 90's el efecto del ENSO en el Norte y Noroeste del Golfo fue menos evidente que en la década anterior y estuvo amortiguado por la fase positiva de la Oscilación del Atlántico.

Norte (NAO). La relación de la anidación con el PNA y la NAO no fue significativa, aunque no puede descartarse que las modificaciones que estos eventos introducen en el hábitat, particularmente en la temperatura superficial marina, afecten a los organismos en alguna fase del ciclo de vida.

#### LITERATURA CITADA

- Barron, Jr. C.N. y A.C. Vastano. 1994. Satellite observations of surface circulation in the northwestern Gulf of Mexico during March and April 1989. Continental Shelf Research. 14(6):607-628
- Barry, R. G. y R. J., Chorley. 1987. Atmosphere, weather and climate. 5a. ed. Routledge. 441 pp.
- Biggs, D.C. 1992. Nutrients, plankton and productivity in a warm-core ring in the western Gulf of Mexico. J. Geophys. Res. 97(C2): 2143-2154
- Bowden, K.F. 1975. Oceanic and estuarine mixing process. In: J.P. Riley y G. Skirrow (Eds.) Chemical Oceanography. Vol. I. 2a. Ed. Academic Press. Gran Bretaña. pp: 1-43
- Byles, R. A. 1989. Satellite telemetry of Kemp's ridley sea turtle, *Lepidochelys kempi*, in the Gulf of Mexico. In S. A. Eckert, K. L. Eckert, and T. H. Richardson (Compiladores). Proceedings of the Ninth Annual Workshop on Sea Turtle Conservation and Biology. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFEC-232. pp 25-26
- Casas-Andreu, G. 1978. Análisis de la anidación de las tortugas marinas del género *Lepidochelys* en México. An. Centro Ciencias Mar y Limnol., UNAM, 5(1):141-157
- Chávez, H., M. Contreras y E. Hernández D. 1967. Aspectos biológicos y protección de la tortuga lora, *Lepidochelys kempi* (Garman), en la costa de Tamaulipas, México. I.N.I.B.P., Pub. 17.
- Cochrane, J.D. y F.J. Kelly. 1986. Low -Frequency on the Texas-Louisiana Continental Shelf. J. Geophys. Res. 91(C9) 10645-10659
- Collard, S.B. 1987. Review of oceanographic features relating to neonate sea turtle distribution and dispersal in the pelagic environment: Kemp's ridley (*Lepidochelys kempi*) in the Gulf of Mexico. Final Report, Contract no. 40-6ENF-S00193. NOAA Florida, 35 pp.
- Collard, S.B. y L.H. Ogren, 1990. Dispersal scenarios for pelagic post-hatchlings sea turtles Bull. Mar. Sci. 47(1):233-243
- Comisión Federal de Electricidad 1993. Informe global de estudios oceanográficos para el P.N. El Tordo - Estado de Tamaulipas. Documento Interno. Gerencia de Ingeniería Civil. Subgerencia de Estudios Civiles. Departamento de Oceanografía. Residencia zona Golfo. 27 pp
- Coyne, M.S., M. E. Monaco y A. M. Landry. 1998. Kemp's ridley Habitat Suitability Index model. Memoria de Resúmenes. 18th Simposio Internacional sobre Tortugas Marinas. Mazatlán, Sin. 3-17 marzo 1998. p 32
- Daniel, W. W. 1977. Bioestadística Base para el análisis de las ciencias de la salud. Limusa México. 667 pp.

- Dodd, C.K. 1988. Synopsis of the biological data on the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* (Linnaeus 1758). Biological Report 88 (14), FAO Synopsis NMFS-149 Fish and Wildlife Service, U. S. Department of the Interior, Washington, D.C. 110 pp.
- Fernández- Eguiarte, A., J. Zavala H. y R. Romero. 1998. Circulación de invierno en la plataforma de Tamaulipas y áreas adyacentes. Memorias de la Reunión SELPER. Zacatecas. Septiembre 1998.
- González-Sansón, G. 1994. Apuntes para un curso de métodos multivariados aplicados en ecología y sistemática. Centro de Estudios Costeros. U. de G. Melaque, 98 pp.
- Grant, M. G. 1972. Oceanography. A view of earth. Prentice Hall, USA. 497 pp.
- Gutiérrez de Velasco, G. 1996. Wind forcing and circulation in the Gulf of Mexico. Tesis de Doctorado. Scripps Institution of Oceanography. University of California, San Diego, Cal USA, 124 pp.
- Gutiérrez de Velasco, G y C. Winant. 1996. Seasonal patterns of wind stress and wind stress curl over the Gulf of Mexico. Journal of Geophysical Research. 101(C8):18127-18140
- Hair, J.F., R.E. Anderson, R.L. Tatham y W.C. Black. 1995. Multivariate data analysis. With readings. 4ª. edición. Prentice Hall Nueva Jersey 745 pp
- Hirth H. F. 1971. Synopsis of biological data on the green turtle. *Chelonia mydas* (Linnaeus) 1758. FAO Fisheries Synopsis no. 85. FIRM/S85. SAST-Green turtle-5,31(07)005,02. 85 pp
- Hoerling, M. P. y A. Kumar, 1997. Why do North American climate anomalies differ from one El Niño event to another? Geophys. Res. Lett. 24: 1059-1062.
- Jiménez, Q., M. C. y R. Márquez M. 2002. Pérdida de marcas metálicas en la tortuga marina lora que anida en Rancho Nuevo, Tamaulipas, México. Anales del Instituto de Biología Serie Zoológica. 73(2):193-203
- Jiménez Q., M.C. y R. Márquez M. 2000. Kemp's ridley (*Lepidochelys kempi*) nesting stock. Trend of neophyte and remigrant females between 1978-1995. Abstracts 80th Annual Meeting American Society of Ichthyologist and Herpetologist. La Paz B C S. 14-21 junio 2000.
- Kumar, A y M.P. Hoerling. 1997. Interpretation and implications of observed inter-El Niño variability. Journal of Climate. 10, 83-91
- Lasdon, L.S y A.D. Warren. 1986. GRG2 User's Guide. Department of General Business, The University of Texas at Austin. Austin, Texas
- Licht, P. 1984. Reptiles. In: G. E. Lamming (Ed.) Marshall's Physiology of Reproduction, Vol 1, Reproductive Cycles in Vertebrates, Churchill-Livingstone, Edinburgh. pp 206-282
- Limpus, C. J y N. Nicholls. 1990. Progress report on the study of the interaction of the El Niño Southern Oscillation on annual *Chelonia mydas* numbers at the southern Great Barrier Reef Rookeries. In: J. Russell (Ed.) Proc. of the Australian Marine Turtle Conservation Workshop. Queensland Department of Environment and Heritage and Australian Nature Conservation Agency. 73-78

- Limpus, C. J. y N. Nicholls. 1988. The southern Oscillation regulates the annual numbers of green turtles (*Chelonia mydas*) breeding around Northern Australia. Aust. J. Wildl. Res. 15:157-161
- Livezey, R., M. Masutani, A. Leetma, H. Rui, M. Ji y A. Kumar. 1997. Teleconnections responses of the PNA atmosphere to large central equatorial Pacific SST anomalies. Journal of Climate 10:1787-1820
- Mann, K.H. y J.R.N. Lazier. 1996. Dynamics of marine ecosystems. Biological-physical interactions in the oceans. 2<sup>a</sup> ed. Blackwell Scientific Inc. 394 pp.
- Manzella, S. A., y J. A. Williams. 1992. The distribution of Kemp's ridley sea turtles (*Lepidochelys kempi*) along the Texas coast: an atlas. Technical Report, National Marine Fisheries Service 110, National Oceanic and Atmospheric Administration U.S. Department of Commerce, Seattle, Washington, USA.
- Márquez, R. 1996. Las tortugas marinas y nuestro tiempo. La Ciencia desde México. No. 144. Fondo de Cultura Económica. México. 197 pp.
- Márquez, R. 1994. Tortuga lora. Sinopsis de datos biológicos. FAO. Sinopsis sobre la Pesca no. 152, INP/S152. SAST-Tortuga Lora 5.31(07) 016.02. 141 pp.
- Márquez, R., J. Vasconcelos, M. Sánchez, S. Sánchez, J. Díaz, C. Peñaflores, D. Ríos y A. Villanueva. 1990. Manual y Reglamento para la Operación de Campamentos Tortugueros. Instituto Nacional de la Pesca. Secretaría de Pesca. 67pp
- Márquez, R., A. Villanueva y C. Peñaflores. 1976. Sinopsis de datos biológicos sobre la tortuga golfinia *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz 1829). INP Sinopsis sobre la Pesca no. 2 INP/S2. SAST-Tortuga Golfina-5.31(07). 016, 01, 61 pp
- Mason, R. T. 1992. Reptilian pheromones. In: C. Gans y D. Crews (Eds). Biology of Reptilia. Behavioral Physiology. The University of Chicago Press. USA pp: 114-228.
- McDaniel, C. J., L. B. Crowder y J. A. Priddy. 2000. Spatial dynamics of sea turtle abundance and shrimping intensity in the U.S. Gulf of Mexico. Conservation Ecology 4(1): 15. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol4/iss1/art15>
- Mendoça, M. T. y P. C. H. Pritchard. 1986. Offshore movements of post-nesting Kemp's Ridley sea turtles (*Lepidochelys kempi*). Herpetologica, 42(3): 373-381
- Moll, E. O. 1979. Reproductive cycles and adaptations. In: M. Harless and H. Morlock (Eds.). Turtles Perspectives and Research. Wiley, New York. pp 305-31
- Monreal-Gómez, M. A. y D. A. Salas de León. 1990. Simulación de la circulación de la Bahía de Campeche. Geofísica Internacional. 29(2) 101-111
- Morreale S. J. y E. A. Standora. 1999. Ecology of *Lepidochelys kempii* in Western Atlantic Developmental habitats and migratory corridors. Kemp's ridley Symposium. 19th Annual Symposium on Sea Turtle Conservation and Biology. South Padre Island, Tx. Marzo 1999. p 19
- Muller-Karger, F.E. y J.J. Walsh. 1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface temperature cycles of the Gulf of Mexico as determined by satellites. J. Geophys. Res. 96(C7) 12645-12665

- Odum, E.P. 1971. Ecología. 2ª. ed. Interamericana. México. 639 pp.
- Owens, D. W. 1997. Hormones in the life history of sea turtles. In: P. L. Lutz y J. A. Musick (Eds.). The Biology of Sea Turtles. CRC Press, Boca Raton. pp. 315-341
- Owens, D. W. 1980. The comparative reproduction physiology of sea turtles. Am Zool. 20:546-563
- Owens, D. W. y Morris, Y. A. 1985. The comparative endocrinology of sea turtles. Copeia 1985, 723-735.
- Pritchard, P.C.H. 1969. Studies of the systematics and reproductive cycles of the genus *Lepidochelys*. Ph.D. dissertation, University of Florida. 196 pp
- Pritchard, P. C. H., P. Bacon, F. Berry, A. Carr, J. Fletemeyer, R. Gallagher, S. Hopkins, R. Lankford, R. Márquez, L. Ogren, W. Pringle, H. Reichart y R. Witham. 1983. Manual of sea turtle research and conservation techniques. Center of Environmental Education. Washington D. C. 2ª. Ed. 108 p
- Pritchard, P.C.H. y D.F. Gicca. 1980. Report on United States/Mexico Conservation of Kemp's Ridley sea turtle at Rancho Nuevo, Tamaulipas, México 1978. Final Report on U.S. Fish and Wildlife Service Contract No. 14-16-022-78-055, 1979, 72 pp.
- Raymont, J. E. G. 1980. Plankton and productivity in the oceans. Vol. I. Phytoplankton. 2a ed. Pergamon Press. 489 pp
- Renaud, M. L. 1995. Movements and submergence patterns of Kemp's ridley turtles (*Lepidochelys kempi*). Journal of Herpetology. 29(3): 370-374
- Renaud, M. L., J. A. Carpenter, J.A. Williams y A. M. Landry Jr. 1996. Kemp's ridley sea turtle (*Lepidochelys kempi*) tracked by satellite telemetry from Louisiana to nesting beach at Rancho Nuevo, Tamaulipas, Mexico. Chelonian Conservation and Biology. 2:108-109.
- Rostal, D. C., J. S. Grumbles, R. A. Byles, R. Márquez-M y D. Wm. Owens. 1997. Nesting physiology of Kemp's ridley sea turtles, *Lepidochelys kempi*, at Rancho Nuevo, Tamaulipas, Mexico, with observations on population estimates. Chelonian Conservation and Biology 2(4):538-547
- Rostal, D.C., Owens, D.W., Grumbles, J.S., MacKenzie, D.S. y M.S. Amos, Jr. 1998. Seasonal reproductive cycle of the Kemp's ridley sea turtle (*Lepidochelys kempi*). Gen Comp Endocrinol. 109:232-243
- Salas de L., D.A., M.A. Monreal y J. Aldeco. 1992. Periodos característicos en las oscilaciones de parámetros meteorológicos en Cayo Arcas, México. Atmósfera 5:193-205
- Sapsford, C. W. y M. van der Riet, M. 1979. Uptake of solar radiation by the sea turtle, *Caretta caretta*, during voluntary surface basking. Comp Biochem Physiol; 1979, 63A, (4) 471-474
- Sarkar, S., N. K. Sarkar, P. Das, y B.R. Maiti. 1996. Photothermal effects, ovarian growth and function in the soft-shelled turtle *Lissemys punctata punctata*. J. Expt. Zool. 274, 41-55.

- Scheinbaum, J., J. Zavala y J. Candela. 1997. Modelación numérica del Golfo de México y Mar Caribe. In: M. F. Lavín. Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía no. 3. Unión Geofísica Mexicana. pp: 243-264
- Siegel, S. y N. J. Castellan. 1995. Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta, 4ª. ed. Ed. Trillas. México, D.F. 437 pp.
- Smith, R. L. 1976. Waters of the sea: the ocean's characteristics and circulation. In: D. H. Cushing y J. J. Walsh (Eds.) The ecology of the seas. W.B. Saunders Co. pp: 23-58
- Spotila, J. R., M. P. O'Connor y F. Paladino. 1997. Thermal Biology. In: P. L. Lutz y J. A. Musick (Eds.) The Biology of Sea Turtles. CRC Press, Boca Raton. pp. 297-314
- Spotila, J. R. y E. A. Standora. 1985. Environmental constraints on the thermal energetics of the sea turtles. Copeia, (36):694-702
- Steiner, T. y R. Schmitt. 1994. Shrimpers implicated as strandings soar in the USA. Marine Turtle Newsletter. 67: 2-5
- Teas, W.G. 1995. Semi-annual report of the sea turtle and salvage network. Atlantic and Gulf of the United States January-December 1994. NOAA-NMFS-SFSC. Miami Lab. Cont. No. MIA-94/95-23 12p
- Teas, W.G. 1994. Annual report of the sea turtle and salvage network. Atlantic and Gulf of the United States January-December 1993. NOAA-NMFS-SFSC. Miami Lab. Cont. No. MIA-93/94-12: 46p
- Trenberth, K. E. y T. J. Hoar. 1996. The 1990-1995 El Niño-Southern Oscillation event: Longest on record. Geophysical Research Letters. 23(1):57-60
- Vidal, V. M., F.V. Vidal y A.F. Hernández, 1990. Atlas oceanográfico del Golfo de México. Vol. II. Instituto de Investigaciones Eléctricas. CFE. México 707 pp.
- Vidal, V. M., F.V. Vidal y J. M. Pérez-Molero. 1988. Atlas oceanográfico del Golfo de México. Vol. I. Instituto de Investigaciones Eléctricas. CFE. México. 415 pp
- Villanueva, A. 1977. Informe de la comisión llevada a cabo en el campamento de Rancho Nuevo. Informe interno. Instituto Nacional de la Pesca, México. 25pp
- Villanueva, A. 1974. Informe de Comisión. Campamento de Rancho Nuevo. Informe interno. Instituto Nacional de la Pesca, México. 18pp.
- Villanueva, A. 1973. Informe de las actividades realizadas en el campamento de Rancho Nuevo. Informe interno. Instituto Nacional de la Pesca, México. 20pp.
- Villanueva, A. y J. M. Sánchez. 1975. Informe de actividades del campamento de Rancho Nuevo. Informe interno. Instituto Nacional de la Pesca, México. 15 pp.
- Wallace, J.M. y D.S. Gutzler. 1981. Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere winter. Monthly Weather Review 109:784-811
- White, M. y M.W. Downton. 1991. The shrimp fishery in the Gulf of Mexico: relation to climatic variability and global atmospheric patterns. In: M.H. Glantz, R.W. Katz y N. Nicholls (Eds.) Teleconnections linking worldwide climate anomalies. Scientific basis and societal impact. Cambridge University Press. U. K. PP459-491

- Whittier, J. M y Crews, D. 1987. Seasonal reproduction: patterns and control. In: D. O. Norris and R. F. Jones (Eds). Hormones and Reproduction in Fishes, Amphibians and Reptiles. pp. 385-09. Plenum, New York.
- Whittier, J.M. y R.R. Tokarz. 1992. Physiological regulation of sexual behavior in female reptiles. In: C. Gans y D. Crews (Eds). Biology of Reptilia. Behavioral Physiology. The University of Chicago Press. USA pp:24-69.
- Wolter, K. 1987. The Southern Oscillation in surface circulation and climate over the tropical Atlantic. Eastern Pacific and Indian Ocean as captured by cluster analysis. J. Climate Appl Meteor, 26, 540-558
- Wyneken, J. 1997. Sea Turtle Locomotion. mechanics, behavior and energetics. In P L. Lutz y J. A. Musick (Eds.). The Biology of Sea Turtles. CRC Press, Boca Raton. pp: 165-198
- Zar, J. H. 1996. Biostatistical analysis. 3ª Ed. Prentice Hall. USA 662 pp.
- Zavala-Hidalgo, J. S. L. Morey y J.J.O'Brien. 2002. Circulation in the western shelf of the Gulf of Mexico EOS Trans. 83, 321



## APENDICES



**APÉNDICE A**  
**CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DE LA ZONA DE**  
**ANIDACIÓN.**

**CONTENIDO**

<b>RESUMEN .....</b>	<b>205</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>207</b>
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>209</b>
<b>ZONA DE ESTUDIO.....</b>	<b>212</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>213</b>
<b>MÉTODOS.....</b>	<b>213</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>218</b>
<i>Circulación de mesoescala.....</i>	<i>218</i>
<i>Circulación costera en Tamaulipas.....</i>	<i>224</i>
<i>Temperatura en la plataforma continental .....</i>	<i>237</i>
<i>Variaciones térmicas en la plataforma continental frente a Rancho Nuevo durante la</i> <i>temporada de anidación de la tortuga lora. Escala semanal.....</i>	<i>244</i>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>251</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>253</b>
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>254</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>259</b>
ANEXO 1 .....	261
ANEXO 2 .....	263



## INDICE DE TABLAS

Tabla A.1.- Características de los anticiclones que se desprenden de la corriente de Lazo y que modifican las condiciones térmicas y la circulación costera del Norte y Noroccidente del Golfo.....	211
Tabla A.2 - Algunas características de la hidrodinámica en las inmediaciones de la plataforma continental de Tamaulipas.....	213
Tabla A.3 - Características de las imágenes empleadas en el análisis R. esp. resolución espacial (tamaño del píxel).....	214
Tabla A.4 - Temperatura superficial marina (°C) A) Promedios mensuales (+ desviaciones estándar) B) Resultados del ANDEVA aplicado a los registros entre años. Las similitudes fueron establecidas con el Análisis de Duncan al 95% de confianza.....	240
Tabla A.5 - Temperatura superficial marina (°C) A) Promedios por paralelo (+ desviaciones estándar) B) Resultados del ANDEVA aplicado a los registros por paralelo. Las similitudes fueron establecidas con el Análisis de Duncan al 95% de confianza.....	241
Tabla A.6 - Variaciones térmicas estacionales (°C/mes) estimadas entre 1989 y 1993.....	241
Tabla A.7 - Gradientes sobre los transectos (E:10°) A) Promedios anuales + Desv. estándar B) Promedios mensuales + Desv. estándar Unidades °C/km.....	243
Tabla A.8 - Comparaciones de los gradientes sobre los transectos mensual y por paralelo.....	244
Tabla A.9 - Valor absoluto de las pendientes de los gradientes de temperatura. En junio de 1996 no fue posible elaborar promedios mensuales por lo que se utilizaron solo valores quincenales, en las semanas marcadas con NR la nubosidad fue muy elevada por lo que los gradientes no fueron representativos.....	247

## INDICE DE FIGURAS

Fig. A.1 - Distribución temporal de los individuos varados en la costa Norte del Golfo de México y la península de Florida (Steiner y Schmittner, 1994, Teas, 1994) Claves: Mis Mississippi, Golfo de México, Golfo de Florida, Florida Atlántico.....	209
Fig. A.2 -Ejemplo de la distribución de frecuencias de los gradientes térmicos determinados con el filtro Sobel Las pendientes de las ecuaciones de regresión lineal simple son indicadores de los gradientes presentes en las imágenes de la segunda semana de junio (s62) y la primera de abril (s41) de 1998.....	218
Fig. A.3.1 -Compuestos mensuales del periodo de enero-abril del lapso 1989-1993. Se aprecia la introducción de la corriente de Lazo y el desplazamiento de los giros ciclónicos por el centro del Golfo de México.....	220
Fig. A.3.2 - Compuestos mensuales del periodo mayo-agosto del lapso 1989-1993. La temperatura superficial es muy homogénea por lo que no se aprecian grandes diferencias regionales, no obstante se aprecia una "pluma" en la costa occidental.....	220
Fig. A.3.3 - Compuestos mensuales del periodo septiembre-diciembre del lapso 1989-1993. La temperatura superficial disminuye y nuevamente es posible apreciar diferencias regionales. Las manchas negras son nubes.....	221
Fig. A.4 - Imágenes que representan el primer componente de los periodos de primavera y verano de 1996 (A y B) y 1997 (C y D). En las cuatro imágenes se observa la presencia de una pluma a partir de los paralelos 22 o 23. En verano es más estrecha. Los colores no representan valores de temperatura. Estas imágenes son similares a las mostradas en la figura 3.1 y 3.2 para el periodo 1989-1993, sin embargo su resolución espacial (9 km) dificulta detectar la pluma.....	228
Fig. A.5.1 -Compuestos semanales de abril y mayo de 1996. En las imágenes de la segunda y tercera semana se aprecia una estructura ciclónica que está destacada en el diagrama C. Los compuestos de la 1 y 4 semana de abril tenían demasiadas nubes. En la imagen B se aprecia la circulación hacia el Sur entre los paralelos 26 y 24. la cual se muestra de manera esquemática en la imagen C. En ese dibujo.....	228

	las flechas indican el posible sentido de la circulación pero no la velocidad de la corriente. En las imágenes D y E no es posible apreciar ese patrón y se destaca la homogeneización paulatina de la TSM. Las manchas negras son nubes	229
Fig A 5.2.-	Compuestos correspondientes a la 2 y 3 semana de mayo (A y B) y a las dos quincenas de junio (D y E) de 1996. Es evidente la homogeneización de la TSM, no obstante cerca de la línea de costa la temperatura es menor. La imagen E es el primer componente resultante de un Análisis de Componentes Principales aplicado a estas 4 imágenes y en ella se aprecia el sentido de la circulación. Como en la imagen anterior las flechas indican el posible sentido de la circulación pero no la magnitud de la corriente	229
Fig A 6.1.-	Compuestos semanales obtenidos en 1998. La imagen de la extrema derecha es una representación de la altura de la superficie marina obtenida de la página web de la Universidad de Colorado	231
Fig. A.6.2 -	Compuestos semanales obtenidos en 1998. La imagen de la extrema derecha es una representación de la altura de la superficie marina obtenida de la página web de la Universidad de Colorado	231
Fig. A 6.3 -	Compuestos semanales obtenidos en 1998. La imagen de la extrema derecha es una representación de la altura de la superficie marina obtenida de la página web de la Universidad de Colorado	232
Fig. A 6.4 -	Compuestos semanales obtenidos en 1998. Las imágenes de la extrema derecha son una representación de la altura de la superficie marina obtenida de la página web de la Universidad de Colorado. Las imágenes Q y R corresponden al 1 y 28 de julio respectivamente	233
Fig A 7 -	Variaciones en la dirección y velocidad del viento. Los intervalos corresponden a 1-30 abril, 31 a 62 a mayo, 63 a 92 a junio, 93 a 124 a julio y el resto a agosto	237
Fig. A 8 -	Valores de temperatura superficial marina registrados en la plataforma continental utilizando todos los registros obtenidos en los transectos ubicados sobre cada uno de los paralelos comprendidos entre los 21 y 27° N	238
Fig. A 9 -	Valores promedio de temperatura superficial marina registrados entre los paralelos 21-27°N y de enero de 1989 a diciembre de 1993 (A) y de abril de 1996 a diciembre de 1997 (B). Se aprecia que en 1991 y 1992 la temperatura fue más elevada y la duración de los periodos cálidos fue más prolongada que en 1989 y 1993	239
Fig. A 10 -	Variaciones anuales de la tasa de incremento de la temperatura (TC) entre invierno y primavera	242
Fig. A 11 -	Diferencia de temperatura entre meses consecutivos (ΔT <sub>m</sub> ) estimada para el periodo 1989-1993. A) Variaciones anuales. B) Cambios latitudinales. Claves: 2 febrero, 3 marzo, 4 abril, 5 mayo, 6 junio, 7 julio, prom = promedio	242
Fig. A 12 -	Gradientes sobre los paralelos. A) Promedios mensuales. B) Medias anuales	243
Fig. A 13 -	Variación semanal de la temperatura superficial marina entre la tercera semana de marzo y la cuarta de julio del periodo 1996-1998 (A). En la figura B se muestra la variación y el promedio en un gráfico de cajas y bigotes y en el cual se destaca la variabilidad de la 5ª semana	245
Fig. A 14 -	Proporción de la imagen libre de nubes. En junio de 1996 la nubosidad fue muy alta por lo cual no fue posible elaborar promedios semanales y se perdió la información a esta escala	246
Fig. A 15 A -	Temperatura superficial marina en la zona de amideación registrada en 1996. Se excluyeron los valores de la primera, segunda y cuarta semana de abril por la cantidad de nubes detectada. Las imágenes de junio corresponden a compuestos quincenales. Los títulos indican el mes y la semana correspondiente	248
Fig. A 15 B -	Temperatura superficial marina registrada en la zona de amideación en 1998	248
Fig. A 15 C -	Pendientes de las distribuciones de frecuencia de los gradientes térmicos. Las pendientes que son similares entre sí, de acuerdo a los resultados del Análisis de Covarianza y de comparaciones múltiples de Neuman-Keuls, están dibujadas con el mismo color	249

## RESUMEN

*El objetivo de este capítulo fue describir las variaciones en el espacio y el tiempo, de la temperatura superficial marina en la plataforma continental comprendida entre los paralelos 21 y 27° N en el período 1989-1993, así como entre los paralelos 23 y 24° N entre 1996 y 1998. A partir de este análisis se describió cualitativamente el sistema de corrientes costeras. En el área de estudio se encuentran la zona de cría y una porción de los corredores migratorios de los adultos y crías de *L. keppii*.*

*La descripción de las corrientes fue realizada a partir de la fotointerpretación y el procesamiento digital de las imágenes mensuales y semanales de la temperatura superficial marina captadas por el sensor AVHRR instalado en los satélites NOAA 12 y NOAA 14.*

*La circulación sobre la plataforma de Tamaulipas presentó variaciones estacionales. En el invierno y el principio de la primavera, la dirección de la corriente costera fue hacia el Sur, forzada por los vientos del Norte y la circulación ciclónica de la plataforma Texas-Luisiana. En contraste, en el borde de la plataforma la corriente se dirigió al Norte, impulsada por la presencia sempermanente de los giros anticiclónicos en esa área. Durante el final de la primavera y el verano, la circulación cerca de la costa se invirtió como resultado de la influencia de la circulación anticiclónica y de la instauración del régimen de los vientos alisos, los cuales provienen del E y SE.*

*Es probable que las modificaciones en el patrón de corrientes costeras favorezcan el desplazamiento de las hembras desde el Norte del Golfo de México hacia Rancho Nuevo entre febrero y abril, y en sentido inverso entre junio y septiembre.*

*La temperatura sobre la plataforma continental ubicada entre los paralelos 21 y 27° N presentó diferencias significativas entre los 5 años analizados. Los más cálidos fueron 1990-1992 y los más fríos 1989 y 1993. En los transectos ubicados al Norte del paralelo 24° N, la temperatura se incrementó entre invierno y verano con mayor rapidez que al Sur de ese paralelo, pero los cambios entre los años no fueron significativos. Los gradientes espaciales, medidos sobre los paralelos, también fueron mayores. En contraste, al Sur del paralelo 24° N, la tasa de incremento fue menor, los cambios entre años fueron significativos y los gradientes longitudinales fueron pequeños.*

*Entre los paralelos 23 y 24° N las condiciones térmicas fueron más constantes que en el resto del área analizada, lo que posiblemente favoreció el establecimiento de la colonia de tortuga lora en esa zona.*

*La temperatura semanal en la zona de cría fue menor en 1996 y mayor en 1997 y 1998. La temperatura superficial fue más homogénea en 1998, por lo que los gradientes térmicos sobre la margen fueron pequeños.*



## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales obstáculos en el estudio de los ciclos de vida de las tortugas marinas es el seguimiento de los individuos una vez que dejan la playa de anidación. Mientras que se colocan marcas de radio y satélite en los adultos, en las crías es prácticamente imposible instalar algún tipo de transmisor. Por otra parte, el costo de estos artefactos hace prohibitivo su uso en grandes cantidades.

Una estrategia alterna es describir la distribución de la temperatura superficial marina en las inmediaciones de la zona de anidación asumiendo que la fisiología y las estrategias ecológicas de los organismos poiquilotermos están estrechamente relacionadas con esta variable.

Coyne et al (1998) elaboraron un Índice de Disponibilidad del Hábitat (HSI) para la tortuga lora a partir de la temperatura y la profundidad, variables que consideraron limitantes de la distribución de la especie. El valor del HSI señala las regiones con mayor probabilidad de albergar individuos de tortuga lora (*L. kempi*). Los autores calcularon el Índice para el área comprendida desde la frontera de EE.UU. con Canadá por la costa Atlántica, hasta el Norte de la península de Yucatán y mostraron que en invierno se encontraron condiciones adecuadas entre las isobatas de 20 y 50 metros en la mayor parte de la plataforma del Golfo de México. Morreale y Standora (1999) describieron los movimientos migratorios de los juveniles de tortuga lora a lo largo de la costa Este de EE.UU. y los asociaron con los cambios en la temperatura superficial marina en la plataforma continental.

El área de distribución de *Lepidochelys kempi* incluye el Golfo de México y la costa Este de Estados Unidos (Marquez, 1994), mientras que la de anidación está restringida a la playa de Rancho Nuevo, Tams., adonde llegan los adultos desde las zonas de alimentación, presumiblemente ubicadas en la desembocadura del Mississippi, la costa oeste de Florida, la Sonda de Campeche y posiblemente en el Norte de la península de Yucatán (Marquez, 1994). Aunque no se conoce con precisión el momento en que se inicia la migración y las rutas no están bien determinadas, es probable que los adultos se desplacen desde el Norte del Golfo hacia Rancho Nuevo desde el otoño hasta el inicio de la primavera, como lo muestran una hembra seguida por telemetría (Renaud et al., 1996) y los reportes de tortugas muertas sobre la playa.

Los organismos varados en la costa estadounidense del Golfo de México en 1992 y en 1993 (Steiner y Schmittner, 1994; Teas, 1994) fueron más abundantes en la costa de Texas en los periodos marzo-mayo y julio-septiembre (Fig. A 1), posiblemente como consecuencia de la migración hacia y desde Rancho Nuevo. En los otros estados no hubo un patrón de distribución temporal definido y el número de organismos reportados fue pequeño.

Es probable que los adultos transiten por la plataforma de Texas y Luisiana entre marzo y abril, antes de que inicie la temporada de anidación. Sin embargo, no se ha relacionado el paso de estos organismos con la temperatura superficial marina y el sistema de corrientes marinas.

Otro tipo de relación entre la temperatura y las tortugas fue descrito por Casas-Andreu (1978), quien señaló que la temperatura superficial marina se elevó de 0.5 a 1 °C en los días previos a las arribaciones de tortuga lora. Sin embargo este autor utilizó los datos del mareógrafo de Tampico, ubicado a poco más de 100 km al Sur de la zona de anidación, en donde las condiciones podrían ser diferentes.

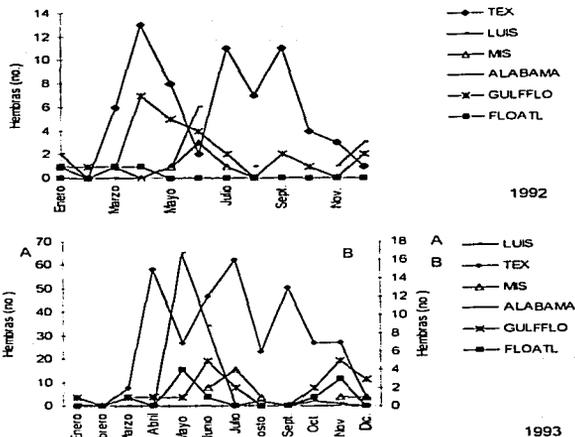


Fig. A.1.- Distribución temporal de los individuos varados en la costa Norte del Golfo de México y la península de Florida (Steiner y Schmitt, 1994; Teas, 1994). Claves: Mis: Mississippi, Gulfflo: Golfo de Florida, Floatl: Florida Atlántico.

Las variaciones en el tiempo de la distribución de la temperatura también son indicadoras de la hidrodinámica del medio. Dentro del ciclo de vida de las tortugas marinas, la dispersión de las crías en el mar ha sido asociada con las corrientes costeras. Collard (1987) y Collard y Ogren (1990) indican que los neonatos son transportados al Norte del Golfo de México por una corriente de frontera influenciada por los giros anticiclónicos que llegan al límite de la plataforma de Tamaulipas, sin embargo, ellos establecieron sus hipótesis a partir de las descripciones de la circulación de mesoescala Lohman y Lohman (1996), Pilcher y Enderby (1998) mencionan que las crías de *C. mydas* se orientan hacia las corrientes que las arrastran fuera de la costa una vez que se introducen al mar.

La descripción de las corrientes marinas y de la distribución de la temperatura superficial marina de la plataforma de Tamaulipas es escasa (Fernández-Eguiarte et al., 1998), no obstante, el costo que implica realizar un levantamiento oceanográfico *in situ* hace necesario buscar técnicas alternativas.

Muller-Karger y Walsh (1991), Fernández - Eguiarte et al (1998), Barron Jr. y Vastano (1994), Vastano et al (1995), entre otros, mencionan que las imágenes infrarrojas del sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), instalado en satélites meteorológicos de la serie NOAA,

TESIS CON  
VALORACION POSITIVA

permiten detectar las características de la temperatura superficial marina en meso y submesoescala y que su análisis puede revelar corrientes de frontera, la formación de los giros, el flujo paralelo a la costa y las corrientes que atraviesan el talud en el NO del Golfo, aunque su utilidad esta limitada por la magnitud de los gradientes térmicos sobre la imagen. También cabe mencionar que, a pesar de que estas imágenes sólo captan la temperatura de la capa de "piel", son capaces de registrar las estructuras dinámicas mencionadas, las cuales afectan a una gran proporción de la columna de agua.

Sobre esta base, en este Capítulo se describen las variaciones espacio-temporales de la temperatura superficial marina en la plataforma continental mexicana comprendida entre los paralelos 21 y 27° N entre los años 1989-1993 y 1996-1998. A partir de las cuales se pretende describir cualitativamente el sistema de corrientes costeras. Se escogió esta área considerando que en ella se encuentran la zona de anidación y una porción de los corredores migratorios de los adultos de *L. kemp*

### ANTECEDENTES

La temperatura superficial marina (TSM) en el Norte y el Noroccidente del Golfo de México, de manera similar a la de cualquier otra región, depende de varios factores (Sverdrup *et al.*, 1942), entre los cuales se pueden mencionar la variación anual de la radiación solar, el régimen de vientos (Oey, 1995, Sturges y Blaha, 1976, Sturges 1993) y la circulación marina (Vidal *et al.*, 1988, 1990, Oey, *op.cit.*, Yongxiang *et al.*, 1996)

Entre los procesos atmosféricos más influyentes en la TSM se encuentran los frentes invernales que se forman a consecuencia del intercambio de masas de aire frío del continente con las del Golfo. Estos frentes, también conocidos como "Nortes", son influidos por los fenómenos de carácter global generados por la interacción océano-atmósfera, tales como El Niño-La Oscilación del Sur, los cuales contribuyen a su variabilidad (Gutiérrez de Velasco y Winant, 1996). Cabe señalar que Klink (citado por Merrell y Vázquez, 1983), menciona que los "Nortes" imparten un forzamiento de tipo ciclónico en la capa de mezcla del Noroccidente del Golfo por la forma en que se distribuye el viento durante el avance del frente.

Por otra parte, el ingreso de los giros anticiclónicos<sup>1</sup> que se desprenden de la corriente cálida del Caribe (Elliot, 1982, Pica y Pineda, 1991) que penetra a la cuenca a través del estrecho de Yucatan, es uno de los procesos oceánicos con mayor influencia en el balance de calor y sales en las regiones Noroccidente y Norte del Golfo.

Cuando los anticiclones colisionan con el talud del borde Occidental (Smith, 1986, Sturges, 1993), pierden volumen y frecuentemente se desplazan hacia la esquina Noroccidental del Golfo (Vidal *et al.*, 1988, Oey, 1995) en donde finalmente se desvanecen. Durante este proceso transfieren parte de su energía a la región adyacente (Merrell y Vázquez, 1983, Vidal *et al.*, 1992) formando remolinos ciclónicos<sup>2</sup> en sus fronteras Norte y Sur, los que eventualmente pueden ser impulsados por la acción del viento. Estos giros permiten la emergencia de agua subsuperficial por lo que fomentan la productividad de la zona (Biggs, 1992)

<sup>1</sup> Zonas de convergencia con circulación en el sentido de las manecillas del reloj. Transportan masas de agua de elevada temperatura y salinidad y de pobre contenido de nutrientes.

<sup>2</sup> Zonas de divergencia con circulación contraria a las manecillas del reloj, con alto contenido de nutrientes y baja salinidad y temperatura.

Además del ingreso de anticiclones en el margen occidental, Vázquez de la Cerda (1975) señala que existe un anticiclón semipermanente muy cerca del centro del Golfo, que él denominó el "Anticiclón Mexicano". Merrell y Morrison (1981) señalan que esta estructura es favorecida por la circulación ciclónica de la Bahía de Campeche y por el aporte periódico de los giros que se desprenden de la corriente de Lazo.

Las características y la dinámica de los anticiclones han sido estudiadas por diversos autores (Vukovich et al., 1979, Elliot, 1982, Brooks, 1984, Lewis et al., 1989, Hamilton, 1992, Glenn y Ebbesmeyer, 1993, Biggs et al., 1996, entre otros). De estos trabajos es posible concluir que las características de estas estructuras son muy variables, ya que su velocidad de desplazamiento y su trayectoria cambian en cada evento, aunque se pueden describir algunos patrones generales (Tabla A.1). De esos artículos también se concluye que los giros anticiclónicos inciden de manera casi permanente en la costa noroccidental del Golfo, en la cual se encuentra la playa de amudación de la tortuga lora.

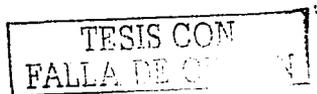
Tabla A.1.- Características de los anticiclones que se desprenden de la corriente de Lazo y que modifican las condiciones térmicas y la circulación costera del Norte y Noroccidental del Golfo.

Característica	Periodicidad	Autor
Periodicidad con la que se forman	8-17 meses, prom 12 meses	Vukovich et al. (1979), Vukovich (1988), Elliot (1982),
Velocidad de desplazamiento	3 meses 3.7-5.7 km / día 2.1 km / día	Monreal (com. pers.) Cochrane (1972) Elliot (1982)
Duración del desplazamiento entre el E y O del Golfo	6-8 meses	Cochrane (1972), Elliot (1982)
Diámetro en el NO	225 km (N-S) 450 (E-O) ≈220 km	Merrell y Morrison (1981) y Merrell y Vázquez (1983) Brooks (1984)
Permanencia en el NO del Golfo	2-4 meses	Elliot (1982)

En contraste con la circulación de mesoescala, que ha sido descrita por diversos autores, la costera es escasamente conocida, particularmente la correspondiente a Tamaulipas (Fernández-Eguiarte et al., 1998). Sin embargo es posible suponer que es influenciada por factores similares a los registrados en otras regiones del Golfo. Así, por ejemplo, Cochrane y Kelly (1986), Oey (1995), Yongxiang et al. (1996) y Li et al. (1997), con información de campo y modelos numéricos, indican que la circulación de baja frecuencia<sup>1</sup> en la plataforma continental de los estados de Louisiana y Texas está determinada por un giro ciclónico limitado por una convergencia de corrientes costeras en el Oeste y una divergencia en el Este. En la porción costera del giro, las variaciones estacionales del viento y el aporte fluvial influyen en la corriente, mientras que en las fronteras Este, Oeste y Sur (sobre el talud) la circulación es afectada por una combinación de fuerzas provenientes de los giros anticiclónicos desprendidos de la corriente de Lazo y de los vientos. Ambos factores generan la convergencia en el SO de la plataforma y favorecen la circulación hacia el Este a lo largo del talud continental.

Barron y Vastano (1994), Vastano y Barron (1994) y Vastano et al. (1995) señalaron que Cochrane y Kelly (1986) describieron adecuadamente la dirección de la corriente de Texas durante la primavera, pero que pueden presentarse variaciones abruptas a diferentes escalas espaciales y temporales, dependiendo de los cambios en la magnitud de los factores que influyen en la corriente. Ellos indicaron

<sup>1</sup> La circulación de baja frecuencia hace referencia a los procesos de carácter geostrofico, por lo cual no incluye a las corrientes de marea y las de corta duración.



que el viento y los fenómenos atmosféricos controlan la circulación costera, pero que eventualmente los aportes estuarino, ribereño y oceánico, pueden modificar e incluso invertir la dirección de la corriente

Los factores que influyen en la circulación en la zona de anidación de la tortuga lora posiblemente sean similares a los descritos para el Norte del Golfo, aunque su magnitud sea diferente. Por ejemplo, es probable que la influencia de los giros sobre la costa tamaulipeca sea más notable porque su plataforma continental es más estrecha que la del Norte

Behringer et al (1977) describieron un frente en forma de pluma, que asociaron a la presencia de un anticiclón. Los autores indicaron que era más evidente en julio y en el intervalo diciembre-febrero y que las diferencias de intensidad a lo largo del año fueron resultado de las variaciones en la interacción entre los anticiclones y la plataforma continental

Brooks y Legockis (1982), con imágenes de temperatura superficial de abril de 1980 obtenidas con el sensor AVHRR-NOAA y registros in situ, detectaron la pluma que, con dirección noreste partía de la costa norte de Tamaulipas, resultado de la interacción entre un ciclón y un anticiclón sobre el talud. Ellos indicaron que ese frente media aproximadamente 500 km y que la temperatura en su interior era menor que la de la región marina adyacente

Smith (1986) indica que algunos de los anticiclones que colisionan con el talud del margen Oeste, se "reflejan" y se dirigen por un breve lapso hacia el Este antes de dirigirse nuevamente hacia el Oeste, mientras que los más débiles pueden invadir la plataforma o desviarse hacia el Norte a lo largo del talud. En concordancia con este autor, Vidal y colaboradores (1988) detectaron el desplazamiento de un anticiclón hacia el Norte, de manera casi paralela a la costa después de aproximarse al talud cerca de la Laguna de Tamiahua en enero de 1984. Parte de este giro se encontró sobre la plataforma puesto que la diferencia de temperatura y salinidad entre el agua costera y la oceánica en la región en donde se impactó fue significativamente más pequeña (1-1.15°C y 0.7‰, respectivamente) que los gradientes registrados al Norte y al Sur (6-7.5°C y 4.3-2.3‰). Estos autores encontraron que la dirección de la corriente era hacia el Norte en el borde de la plataforma continental entre la frontera México - EE UU y el norte de Veracruz, como resultado de la influencia del campo anticiclónico, mientras que cerca de la costa la dirección era hacia el Sur, impulsada por los Nortes

Por otra parte, Vidal et al (1990) señalan que después de que un anticiclón colisionó con el talud se presentó una divergencia de la corriente hacia el Norte y Sur entre los paralelos 22 y 23° N formando dos corrientes de chorro que fluyeron paralelas a la costa y que coincidieron con el área de anidación de la tortuga lora (23.15° N) en octubre de 1986.

En la tabla A 2 se presentan algunas mediciones de velocidad y dirección de la corriente medidas en la plataforma continental

El esfuerzo del viento y el rotacional del esfuerzo del viento también afectan la circulación. Sturges y Blaha (1976) y Sturges (1993) destacaron la presencia de una corriente de frontera, paralela al borde de la plataforma de la costa oeste del Golfo, ubicada entre los paralelos 24 y 26° N, resultante del rotacional negativo del esfuerzo del viento sobre gran parte del Golfo. Gutiérrez de Velasco y Winant (1996) indicaron que la descripción de la distribución de esta variable elaborada por Sturges (1993) es incorrecta, puesto que existen valores negativos y positivos sobre el Golfo, cuya "línea" divisoria se extiende entre la península de Yucatán y la frontera México - EE UU. Los valores negativos se encuentran sobre la región oriental, mientras que los positivos sobre el occidente y suroccidente del Golfo de México. Durante el invierno estos últimos se retraen entre Veracruz y la Bahía de Campeche.

mientras que en la primavera y verano alcanzan la frontera con EEUU. Según estos autores, éstas variaciones propician la circulación ciclónica en la Bahía de Campeche y el flujo hacia el Norte en el borde de la plataforma continental tamaulipeca.

Howard *et al.* (1996) reportaron una pluma similar a la descrita por Brooks y Legeckis (1982), en la costa nororiental mexicana entre los paralelos 24 y 28 ° N a principios de agosto de 1993 y señalaron que indica la presencia de una surgencia, conclusión que fue apoyada por la descripción del patrón estacional de vientos elaborada para el verano por Wang *et al.* (1998).

Tabla A.2.- Algunas características de la hidrodinámica en las inmediaciones de la plataforma continental de Tamaulipas.

Estructura	Velocidad (cm/seg.)	Dirección	Transporte ( $\times 10^6 \text{ m}^3/\text{seg}$ )	Fuente
Interacción ciclón-anticiclón	30-50	NE		Brooks (1982)
Interacción ciclón-anticiclón			29.7	Merrell y Morrison (1981)
Pluma sobre la plataforma.	74	NE	31.5	Brooks y Legeckis (1982)
Corriente sobre la plataforma .	25-50			Vidal <i>et al.</i> (1988)
	60 en el borde 20 en el interior	N S		

Por otra parte, Vidal y colaboradores (1988) mostraron que el aporte fluvial modificó las características térmicas y salinas de la región costera de Tamaulipas. Estos autores encontraron que la temperatura mínima registrada entre la frontera México- EE.UU. y el Sur de Veracruz en el invierno de 1984, fue favorecida por la advección hacia el Sur de la descarga de los ríos Bravo, Soto la Marina y Pánuco. Este desplazamiento fue impulsado por el paso de los Nortes.

El Departamento de Hidrometeorología de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 1993) elaboró una descripción de las corrientes costeras, el oleaje y la temperatura superficial en la Barra del Tordo, ubicada sobre la desembocadura del río Carrizal (23° 03' Lat N y 97° 46' Long O), cercana a Rancho Nuevo. Ellos registraron que la temperatura superficial marina promedio fue de 24.5 °C, la mínima de 12.3 °C y la máxima de 32 °C. La temperatura más elevada se obtuvo entre junio y septiembre, mientras que la más baja entre diciembre y enero. Por otra parte, la dirección dominante de la corriente costera durante la mayor parte del año, en superficie y a dos metros de profundidad fue hacia el Norte y sólo durante el invierno se invirtió. La corriente litoral, esto es la que se manifiesta entre la primera línea de la rompiente y la orilla de la playa, fue predominantemente hacia el Sur y sólo de mayo a julio se dirigió al Norte.

### ZONA DE ESTUDIO

Se trabajó en tres escalas (el diagrama se incluye en el Capítulo I).

- 1 - Golfo de México comprendido entre las coordenadas 18-30° N y 85-98° O
- 2 - Costa Occidental y Noroccidental del Golfo incluida entre las coordenadas 20-30° N y 94-98° O.
- 3.-La zona de amidación, que abarca el área entre las coordenadas 23-24° N y 97.25-98° O.



## OBJETIVOS

Describir cualitativamente la circulación de mesoescala y costera en la zona de anidación de la tortuga lora.

Detectar los frentes, los gradientes térmicos y la tasa a la cual se eleva la temperatura superficial marina en la zona de anidación comprendida entre Barra del Tordo y Soto la Marina, así como en las áreas que sirven como corredores migratorios ubicados sobre la plataforma continental y delimitados por los paralelos 21 y 27° N.

Describir las variaciones mensuales de los frentes y los gradientes térmicos en el intervalo 1989-1993, con énfasis en el periodo invierno -primavera.

Describir las fluctuaciones semanales de la temperatura superficial marina, los frentes y los gradientes térmicos en la temporada de anidación que comprende de la tercera semana de marzo a la cuarta semana de julio.

## MÉTODOS

La descripción cualitativa de la circulación y la obtención de los datos de temperatura superficial se realizó con imágenes obtenidas por el sensor AVHRR, instalado en los satélites meteorológicos de la serie NOAA. El análisis partió de la identificación de las estructuras de mesoescala en el Oeste y centro del Golfo de México. Posteriormente, con base en esos resultados y en las representaciones de la circulación obtenidas por diversos autores, se describió el sistema de corrientes de la zona de anidación.

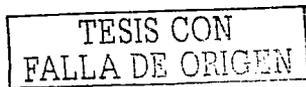
Se utilizaron 3 tipos de imágenes de temperatura superficial del Golfo de México:

1. Tipo "equal angle best SST" obtenidas de los archivos de la National and Oceanographic Atmospheric Administration (NOAA).
2. Imágenes donadas por el Instituto de Geografía (I.G.) de la UNAM.
3. Imágenes proporcionadas a través de un convenio entre el Instituto Nacional de la Pesca (INP) y el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL) de la UNAM.

Las características y el número utilizado se muestran en la Tabla A.3.

Tabla A.3.- Características de las imágenes empleadas en el análisis. R. esp. resolución espacial (tamaño del pixel).

Tipo	No.	Lapso	Periodicidad	R. esp. (km)	Precisión ±(° C)	Fuente	Coordenadas
1	60	I/1989-XII/1993	mensual	9	0.3	NOAA	18-30° N 85-98° O
2	3	IV/1996-VI/1996	mensual	1.1	0.4	I. G.	20-30° N 94-98° O
3	21	IV/1996-XII/1997	mensual	4	0.5	INP/ICMyL	20-30° N 94-98° O
4	48	IV-VII 1996-1998	semanales	1.1	0.5	INP/ICMyL	20-30° N 94-98° O
5	48	IV-VII 1996-1998	semanales	1.1	0.5	INP/ICMyL	23-24° N 97.25-98° O



Las imágenes extraídas de la NOAA (<http://podaac.jpl.nasa.gov/sst/>) son archivos binarios con formato RAW. Cada una de ellas representa el promedio mensual de imágenes diarias tipo Global Area Coberture (GAC), obtenidas con el sensor AVHRR-NOAA y cuya resolución espacial se redujo de 4.5 a 9 km por lado y a las cuales se les aplicaron algoritmos para eliminar las nubes, homogeneizar el tamaño del pixel así como diversas pruebas para evaluar la calidad de los valores de temperatura (Vázquez et al., 1995). Las bandas espectrales y la función que la NOAA utiliza para el cálculo de la temperatura se presenta en el Anexo 1.

Los archivos binarios se transformaron en valores de temperatura (°C) con la función lineal y las constantes recomendadas por Vázquez et al. (1995).

$$\text{TSM (°C)} = (\text{ND} * 0.15) - 3 \quad (\text{A.1})$$

Donde:

TSM: Temperatura superficial marina

ND: Número digital

Las imágenes se clasificaron en intervalos de 5 unidades cada 0.5 °C para utilizar el intervalo completo de 256 tonos que puede desplegar el monitor. Este proceso y el análisis de imágenes se hizo con el Sistema de Información Geográfica IDRISI v.2 para Windows, de la Universidad de Clark. No es posible comparar las imágenes obtenidas de la NOAA con el resto, ya que la resolución espacial y la precisión fueron diferentes (Tabla A.3).

Por otra parte, las imágenes donadas por el I. G. y las obtenidas a través del Convenio INP-ICMyL (UNAM), fueron promedios mensuales y semanales de imágenes diarias a las que se les eliminaron las nubes. Las cinco bandas de cada imagen fueron procesadas con el algoritmo incorporado en el sistema TeraScan (Ver Anexo 1) para obtener la temperatura superficial (Monaldo, 1996). Las imágenes fueron realizadas con un filtro sobre el dominio de la imagen de mediana (Ver Anexo 2), aplicado con una matriz de 3x3. Esto permite eliminar los pixeles con valores significativamente diferentes a los vecinos (Chuvieco, 1990; Richards, 1986).

En las imágenes realizadas se identificaron visualmente las zonas más cálidas y frías, la localización de los giros, los frentes y la corriente de Lazo. Se ubicaron grosso modo las fronteras de esta última, para inferir el periodo en el que se desprendieron los anticiclones. Para corroborar la fotointerpretación se comparó la distribución de la temperatura de las imágenes con los mapas elaborados por algunos autores (Biggs et al., 1996; Vastano et al., 1995) con base en mediciones *in situ*. A partir de estos resultados y de las velocidades de translación estimadas por Cochrane (1972), Elliot (1982) y Sturges (1993), se calculó empíricamente el periodo en el que era probable que los anticiclones se encontrarán en las inmediaciones de la plataforma de Veracruz y Tamaulipas, para observar el efecto de estos giros en la circulación costera.

En el verano es difícil distinguir las estructuras dinámicas porque la temperatura es muy homogénea, por lo que las imágenes fueron comparadas con los mapas de la altitud de la superficie marina obtenidas por el altímetro del satélite ERS1 disponibles en la página WEB de la Universidad de Colorado desde junio de 1992. En esos mapas se muestra la posición de los frentes con la de los giros ciclónicos y anticiclónicos. En los primeros la altura geopotencial es negativa y en los anticiclones, positiva.

Los frentes y otras estructuras hidrodinámicas se realzaron con dos técnicas. La primera consistió en la aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP). El número de imágenes

empleadas dependió de la periodicidad de las imágenes. Esta técnica retiene una elevada proporción de la varianza de los datos en el primer componente o factor (Hair *et al.*, 1995). La imagen del primer componente destaca las condiciones típicas de la serie de tiempo y las restantes muestran los cambios (Eastman, 1997). Los coeficientes de correlación de las variables (imágenes en este análisis) con cada componente, permitieron distinguir a las que explicaron la mayor proporción de la varianza.

Las imágenes mensuales de los 7 años se agruparon siguiendo un criterio estacional (Tipos 1 a 3 en la tabla A.3). Sin embargo, sólo se presentan los resultados del período enero-julio porque en él se inicia la temporada de anidación y ocurre la mayor parte de los desoves y de las eclisiones.

Las imágenes semanales (Tipo 4 en la tabla A.3) utilizadas en el ACP fueron de los periodos marzo-junio de 1996 y 1998. Las de 1997 se descartaron porque una elevada porción estuvo cubierta por nubes. Para el análisis se ensayaron diversos conjuntos, cada uno compuesto por un mínimo de 3 imágenes y un máximo de 6; finalmente se optó por agruparlas dependiendo de la presencia o ausencia de un frente similar al descrito por Brooks y Legeckis (1982).

El otro método de realce consistió en aplicar filtros de convolución (Ver Anexo 2) sobre cada una de las imágenes individuales y compuestas, para destacar la presencia de frentes y cuantificar los gradientes térmicos (Chuvieco, 1990; Richards, 1986). Se aplicaron 2 tipos de filtros dependiendo de la magnitud de los gradientes.

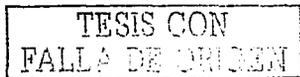
El primero fue el Filtro Laplaciano aplicado con una matriz de 5x5 para el realce de bordes. Este filtro permitió distinguir las áreas de cambio en superficies continuas y por lo tanto, la posición de los frentes. Se utilizó este tamaño de matriz para que sólo destacaran las áreas en las que se produjeron los mayores cambios.

Algunas veces se hicieron operaciones aritméticas con las imágenes para realzar los frentes. Estas serán descritas en donde se presente el resultado correspondiente. El segundo filtro fue el Sobel, que se utilizó sobre las imágenes tipo 5 y será descrito posteriormente.

Este procesamiento permitió distinguir los frentes y describir cualitativamente la hidrodinámica costera, sin embargo no proporcionó indicadores para relacionarlos con la distribución temporal y espacial de las tortugas, por lo que se procedió a la extracción de los valores de la TSM en cada una de las imágenes de tipo 1 y 3 (Tabla A.3). Se utilizó el período 1989-1993 porque la distribución temporal de las anidaciones sobre la playa presentó variaciones significativas (Ver Capítulo III) y porque durante ese lapso ocurrieron La Niña (1989) y El Niño (1991-1992). Diversos autores han señalado la estrecha relación entre esos fenómenos meteorológicos y la temperatura del aire y marina del Norte del Golfo de México (White y Downton, 1991; Gutiérrez de Velasco, 1996).

El programa IDRISI se utilizó para trazar 7 transectos de aproximadamente 126 km de longitud, sobre cada uno de los paralelos ubicados entre los 21 y 27° de latitud Norte, cuyo origen fue la costa occidental del Golfo. Cada uno de los datos representó la temperatura promedio de áreas dependientes del tamaño del pixel. El primer valor se descartó para eliminar la interferencia de la costa. Los análisis estadísticos se hicieron con el programa STATISTICA V. 4.5 para Windows (StatSoft Inc., 1995).

La temperatura promedio mensual de cada transecto se mostró en un diagrama de superficie para obtener una representación gráfica de sus variaciones temporales y espaciales. La interpolación de



los datos para formar las isolíneas se realizó con el método de triangulación, incluido en el programa Surfer (Win 32) v. 6.01 (Golden Software Inc, 1995).

La totalidad de los datos de la temperatura superficial del Golfo, los registros obtenidos en los paralelos, así como los valores de cada mes y de todo el intervalo marzo - julio, fueron comparados para detectar las diferencias entre los años con análisis de varianza de una vía (ANDEVA), en los contrastes entre los años se utilizó el mes como covariante.

El ANDEVA prueba la hipótesis nula ( $H_0$ ) de igualdad de medias entre los grupos, a través de la comparación de la varianza de cada muestra, con la estimada para todo el conjunto. Cuando se rechazó  $H_0$ , se empleó el método de comparaciones múltiples de Duncan (Montgomery, 1984) para distinguir los grupos que fueron diferentes. En este análisis las medias se ordenan jerárquicamente y se contrastan a través de la valoración, con el método de t-student, de la magnitud de las diferencias entre ellas.

Para obtener un indicador de la variabilidad temporal y espacial de la temperatura, se estimaron los gradientes espaciales (G) y la velocidad a la que se elevó la temperatura entre la primavera y el verano (TC). Esta última se calculó con los valores promedio mensuales, mientras que los primeros, con los registros obtenidos a lo largo de cada uno de los transectos. Ambos se estimaron a partir de un modelo de regresión lineal simple, con la suposición de que la pendiente es equivalente a estos indicadores.

$$TSM (^{\circ}C) = (a \cdot x) + b \quad (A.2)$$

Donde:

- a: Gradiente ( $^{\circ}C / km$ ) o variación temporal ( $^{\circ}C / mes$ )
- b: Ordenada al origen
- x: Tiempo o distancia (meses o km)

Los datos presentaron una tendencia logística, por lo que los valores se transformaron en logaritmos naturales para linearizar las curvas. Se determinó el nivel de significancia de las regresiones aplicando ANDEVAS. Las velocidades estimadas se compararon entre sí con un análisis de Covarianza y cuando las diferencias fueron significativas se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Newman-Keuls (Zar, 1974).

Los gradientes se analizaron bajo el supuesto de que los coeficientes de determinación significativos y las pendientes positivas, estaban asociadas con la presencia de estructuras anticiclónicas en el borde de la plataforma.

La temperatura promedio y la desviación estándar se calculó para las imágenes tipo 5 (Tabla A.3), sólo se trabajó con el intervalo comprendido entre la tercera semana de marzo y la cuarta semana de julio, porque correspondió al periodo en el que fueron más abundantes los desoves.

El valor promedio de los gradientes térmicos se calculó con el filtro Sobel. Los resultados podrían ser un indicador numérico de la heterogeneidad del medio, para correlacionar con la distribución espacial y temporal de las hembras sobre la playa de anidación. Este método se basa en el uso de dos matrices de  $3 \times 3$  (Anexo 2). Los valores resultantes de la aplicación del filtro se transformaron en archivos con formato ASCII para procesarlos en una hoja de cálculo y con los programas de análisis estadístico STATISTICA (v. 4.5 de StatSoft Inc.) y SPSS (8.0 v. Windows de SPSS Inc.) después de dividirse por un factor de normalización (4) y por un factor espacial (2.2) que es igual al doble de la longitud lateral del pixel (Simpson, 1990).

Para comparar los resultados de la aplicación del filtro Sobel entre imágenes, se aplicó un análisis de regresión simple al logaritmo natural de las frecuencias obtenidas (Fig. A.2). Los datos fueron transformados por su logaritmo natural para linerizarlos puesto que el tipo de distribución que presentaron fue exponencial negativa.

Este análisis se hizo sobre la base de que la magnitud del valor absoluto de la pendiente es inversamente proporcional a la distribución de frecuencia de los gradientes transformados, por lo que las pendientes más pequeñas, como la de la segunda semana de junio, s62 en el ejemplo de la figura A.2, corresponden a una mayor cantidad de gradientes, mientras que las grandes, como la de la primera semana de abril (s41 en la figura A.2) a un menor número y a condiciones más homogéneas en el medio. Las pendientes se contrastaron, con un análisis de covarianza y cuando se encontraron diferencias significativas, con el de comparaciones múltiples de Newman-Keuls (Zar, 1974).

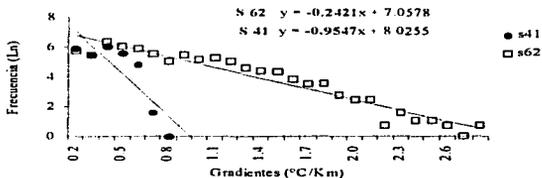


Fig. A.2.-Ejemplo de la distribución de frecuencias de los gradientes térmicos determinados con el filtro Sobel. Las pendientes de las ecuaciones de regresión lineal simple son indicadoras de los gradientes presentes en las imágenes de la segunda semana de junio (s62) y la primera de abril (s41) de 1998.

## RESULTADOS

### *Circulación de mesoescala*

En las imágenes térmicas del período comprendido entre noviembre y abril, incluidos en los intervalos 1989-1993 y 1996-1998, fue posible distinguir frentes y diferencias regionales en el Golfo (Fig. A.3.1 y A.3.3). A partir de mayo la temperatura superficial se homogeneizó paulatinamente, lo que limitó la detección de las variaciones en el centro del Golfo y sólo se distinguieron algunos frentes cercanos a la costa (Fig. A.3.2).

Las zonas más frías fueron la Norte y la Noroccidental, mientras que la Sur y la Sudoriental fueron las más cálidas. Las temperaturas más elevadas se registraron en el estrecho de Yucatán, por donde se introduce la corriente de Lazo. La temperatura entre éste último y el margen occidental varió entre 2 y 3 °C durante el invierno y primavera, como se muestra en la figura A.3.1, aunque la diferencia disminuyó en el verano (Fig. A.3.2).

La interpretación visual permitió distinguir dos regiones separadas por una línea diagonal imaginaria, cuyos extremos se localizaron en las cercanías de los 23° N en el margen occidental y el borde superior de la corriente de Lazo, cuya ubicación fue variable a lo largo del año. Cabe destacar que en el borde occidental, muy cerca de esa línea, se apreció un frente similar a una pluma cuyo rumbo varió entre unos cuantos grados con dirección ENE al final del invierno (Figs. A.3.1 de enero y febrero), hasta parecer casi paralela a la costa durante el verano (Figs. A.3.2 de junio y julio).

Al Norte de esa línea la temperatura decreció entre la zona oceánica y la costa de 2 a 3 °C. El gradiente de temperatura se mantuvo paralelo a la línea de costa y fue más notorio entre noviembre y abril.

Por el contrario, al Sur de esa línea la temperatura fue más alta y el calentamiento entre primavera y verano se manifestó a partir de la esquina SE, en las inmediaciones de la laguna de Términos (Campeche). En esta región la diferencia entre la temperatura de la plataforma y la zona oceánica fue más evidente a finales de primavera, aunque fue menos conspicua que en el Norte y Noroeste. En el centro del Golfo se observaron algunos frentes cuyas formas fueron similares a meandros (ver imágenes de marzo de 1991 y febrero de 1993 en la figura A.3.1).

En las imágenes del lapso entre noviembre y mayo, se distinguieron grosso modo las variaciones en la corriente de Lazo (Figs. A.3.1 y A.3.3). Ésta alcanzó su posición más norteña cuando se encontró en las inmediaciones del río Mississippi (28 °N- 88.8 °O), poco antes del desprendimiento de los giros anticiclónicos (Maul, 1977).

Enero

89

90

91

92

93

Febrero

Marzo

Abril

Temp  
(°C)



TESIS CON  
FALLA EN CUBIEN

Fig. A.3.1.-Compuestos mensuales del período de enero-abril del lapso 1989-1993. Se aprecia la introducción de la corriente de Lazo y el desplazamiento de los giros ciclónicos por el centro del Golfo de México.

Mayo

89

90

91

92

93

Junio

Julio

Agosto

Temp  
(°C)

20.1

22.6

25.1

27.6

30.1

Fig. A.3.2.- Compuestos mensuales del periodo mayo-agosto del lapso 1989-1993. La temperatura superficial es muy homogénea por lo que no se aprecian grandes diferencias regionales, no obstante se aprecia una "pluma" en la costa occidental.

Septiembre

89

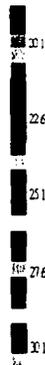
90

91

92

93

Temp  
(°C)



Octubre

Noviembre

Diciembre

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. A.3.3.- Compuestos mensuales del periodo septiembre-diciembre del lapso 1989-1993. La temperatura superficial disminuye y nuevamente es posible apreciar diferencias regionales. Las manchas negras son nubes.



En el periodo de estudio, la corriente alcanzó esta ubicación en varias ocasiones, tales como entre abril y mayo de 1989 y entre junio y julio de 1990 (Figs. A.3.1 y A.3.2), no obstante, con el uso de las imágenes térmicas no fue fácil distinguir las variaciones de esta corriente durante el verano

En algunas imágenes (e.g. abril de 1989 y 1993) se apreciaron estructuras en el margen occidental del Golfo, con formas variables entre semicircular y elíptica, cuya temperatura fue más alta en el interior, que en la periferia (Fig. A.3.1). En la primavera de 1989 se observaron dos estructuras semicirculares, la primera se encontró en la imagen de febrero, aproximadamente en las coordenadas  $24^{\circ} \text{N} - 96^{\circ} \text{O}$  (Fig. A.3.1); en esa imagen se aprecio otra estructura, aunque más pequeña, en las coordenadas  $25^{\circ} \text{N} - 94^{\circ} \text{O}$ , que aparentemente alcanzo la esquina Noroeste en abril, cuando se observo alrededor de los  $27^{\circ} \text{N} - 96^{\circ} \text{O}$ .

En la primavera de 1990 y 1991, el anticiclón fue evidente en las inmediaciones de la zona de anidación (Fig. A.3.1). En 1992 apareció más difuso en el margen occidental, mientras que se detectó una estructura circular en las coordenadas  $26^{\circ} \text{N} - 92^{\circ} \text{O}$  que se estaba desplazando hacia el Oeste. Biggs *et al.* (1996) describieron este anticiclón y su posterior división al interactuar con un ciclón formado entre su borde Sudeste y la corriente de Lazo; ambos anticiclones llegaron al talud aproximadamente en junio, uno frente a la laguna de Taniahua y el otro a la desembocadura del río Bravo.

En febrero de 1993 (Fig. A.3.1) la frontera norte del anticiclón aparentemente alcanzó la desembocadura del Río Bravo, aunque en los dos meses posteriores se observó la formación de una estructura alargada que se extendió entre los  $25^{\circ}$  y  $27^{\circ} \text{N}$ , cuya temperatura interior fue más homogénea que la detectada en la estructura de 1989, lo que aparentemente indicó que había colisionado con la plataforma y se dirigía hacia el Norte, paralela a la costa. Las imágenes de la altitud de la superficie marina que la Universidad de Colorado elabora a partir de las mediciones de los satélites ERS1 y TOPEX/ERS (no incluidas en este texto), mostraron la existencia de los remanentes de un anticiclón en el área

En los párrafos anteriores se describe la presencia de anticiclones en las inmediaciones de la zona de anidación durante la primavera del periodo 1989-1993. En el margen occidental diversos autores han indicado la presencia semipermanente de un anticiclón (Monreal y Aldeco, *com. pers.*). Sin embargo, aunque hacia el final de la primavera no fue posible detectar esas estructuras en las imágenes térmicas, fueron evidentes en los mapas altimétricos y coincidieron con la distribución descrita.

En las imágenes semanales del intervalo marzo-julio de 1996, 1997 y 1998, los anticiclones no fueron evidentes, aunque fue posible suponer su posición por las imágenes altimétricas. Las dimensiones del anticiclón aparentemente cambiaron al interactuar con la costa y con la llegada de anticiclones desprendidos de la corriente de Lazo. Por lo que en 1996 se apreció una estructura elongada con circulación anticiclónica entre los  $21^{\circ}$  y  $25^{\circ} \text{N} - 96^{\circ} \text{O}$ , a la cual se aproximó un anticiclón por el NE, el que a su vez estuvo limitado al SO por un ciclón, mismo que posteriormente dividió a la estructura elongada, cuyo extremo superior se unió al anticiclón y se ubicó alrededor del paralelo  $25^{\circ} \text{N}$  entre abril y junio; cabe señalar que esta estructura se fue alargando conforme interactuó con el talud continental.

En 1997 el anticiclón mantuvo una forma circular y se ubicó entre los paralelos  $21^{\circ}$  y  $24.5^{\circ} \text{N} - 96^{\circ} \text{O}$ , y estuvo limitado hacia el NE por un giro ciclónico bien desarrollado, el cual permaneció entre

abril y la segunda semana de julio, cuando se debilitó ante la interacción de un anticiclón desprendido de la corriente de Lazo que en esos meses se localizó entre los paralelos 25 –26° N – 93° O. A finales de julio el ciclón quedó constreñido por la costa y el anticiclón, por lo que nuevamente se hizo evidente. El efecto de la interacción de las estructuras ciclónica y anticiclónica en la circulación costera de la zona de anidación será discutido en el siguiente inciso.

### *Circulación costera en Tamaulipas*

Como se mencionó en párrafos anteriores, cerca de la zona de anidación y sobre la plataforma se observó una "pluma" similar a la descrita por Behringer *et al.*, (1977) y Brooks y Legeckis (1982), cuya temperatura fue más fría que la de la región oceánica adyacente, en una franja que partió de los 23° N aproximadamente y que se ensanchó hacia el Noreste hasta alcanzar los paralelos 25 y 26° N. Esta estructura se presentó con cierta regularidad. La pluma fue evidente en los meses fríos, particularmente en el lapso comprendido entre diciembre y abril; en mayo no apareció o fue menos conspicua (como en 1992 y 1993); pero reapareció en junio, para nuevamente desaparecer entre octubre y noviembre. En este texto se hará hincapié en las características que se distinguen en el intervalo marzo - julio, cuando desovan la mayoría de las hembras de tortuga lora y eclosiona una elevada proporción de las crías

La pluma se observó en cada una de las imágenes que representaron el primer factor, resultante del ACP aplicado a los meses de primavera y verano de todos los años disponibles (Fig. A.4), lo que confirma su presencia en esos periodos. La pluma de las imágenes de primavera fue más ancha que la de verano y fue más notoria cuando se detectó una estructura cálida en las inmediaciones de la plataforma, como ocurrió en 1989, 1993 (Fig. A.3.1) y 1996 (Fig. A.5.1A).

En las imágenes de 1989 a 1993 sólo fue posible describir esta característica a grandes rasgos por el tamaño del píxel (9 km), pero en las de 1996, 1997 y 1998, cuya resolución fue mayor (1.1 km), se observó con mayor detalle. Una gran cantidad de las imágenes de 1997 estuvo recubierta de nubes por lo cual no serán descritas y solo se hará referencia a ellas de manera puntual.

En las imágenes de abril de 1996 (Figs. A.5.1A y A.5.1B) la franja de agua fría fue más ancha y mantuvo un gradiente negativo hacia el Norte. En la segunda y tercera semana de ese mes se presentó una estructura con circulación ciclónica en el exterior de la pluma, entre los paralelos 24.5 y 26° N, mientras que cerca de la costa se apreció una lengüeta de menor temperatura cuya circulación aparentemente fue hacia el Sur.

En mayo, la pluma sólo se advirtió de manera clara en 1989, fue menos notoria en 1990 y 1991, mientras que en 1992, 1993, 1996 y 1997 no fue evidente (Fig. A.5.1 inciso D y E; Fig. A.5.2 inciso A). Reapareció en junio o julio, pero fue más estrecha y se alejó de la costa en las inmediaciones del río Bravo, dirigiéndose hacia el Noreste para introducirse en la plataforma continental texana. La presencia de "filamentos" con dirección Norte y Noreste en un gran número de imágenes de junio y julio de los tres años, permitió suponer que seguían la dirección de la corriente en el borde de la plataforma (ver imagen E de la Figura 5B)

En la secuencia de las Figuras A.6.1A-A.6.1D se presentan las variaciones de la TSM desde la primera semana de abril, hasta la última de julio de 1998. A diferencia de 1996 y 1997, la nubosidad fue menor, pero como ese año fue más cálido, las variaciones sobre las imágenes fueron

menos acusadas, por lo que la ubicación aproximada de los giros se dedujo de las imágenes de altimetría. En las figuras A.6.1A y A.6.1B se aprecia la influencia del anticiclón al Sur del paralelo 24 y la advección del agua proveniente de la plataforma texana en las primeras semanas de abril. La ubicación aproximada del anticiclón se destaca en la imagen de altimetría del 1 de abril.

Posteriormente, entre la 4a semana de abril y la 4a de mayo, la temperatura se homogeneizó y disminuyó la influencia del campo anticiclónico ubicado fuera de la plataforma continental (Fig. A.6.2). En junio se apreció una pequeña pluma favorecida por la migración del anticiclón ubicado en las coordenadas 24° N - 95° O hacia la plataforma tamaulipeca, el que posteriormente se desplazó hacia el NE (Fig. A.6.3). En la tercera y cuarta semana de julio se observaron algunos filamentos en el borde exterior de la pluma que coincidieron con la posible frontera del anticiclón (Fig. A.5.2 inciso E)

Por la resolución espacial y temporal de esas imágenes y la falta de información de campo, es difícil describir cuantitativamente el sistema de corrientes litorales y de mesoescala. Sin embargo es factible elaborar una descripción hipotética de acuerdo a lo observado en las imágenes mensuales y semanales y a lo descrito por Brooks y Legeckis (1982), la Comisión Federal de Electricidad (1993), Vidal et al. (1992) y Fernández -Eguiarte et al. (1998).

Durante el invierno es probable que la circulación costera tenga dirección Sur, impulsada por el patrón general de vientos<sup>4</sup> (E, NE) prevaleciente y por el paso de los Nortes. Cabe señalar que en este período el giro ciclónico de la plataforma continental de Texas y Luisiana está bien desarrollado y favorece la advección hacia el sur del aporte del río Bravo. Por el contrario, en el borde de la plataforma la corriente fluye al Norte favorecida por la interacción constante con los anticiclones.

---

<sup>4</sup> En este texto la dirección de viento hace referencia al origen, así por ejemplo, los alisios provienen del Este y se dirigen hacia el Oeste



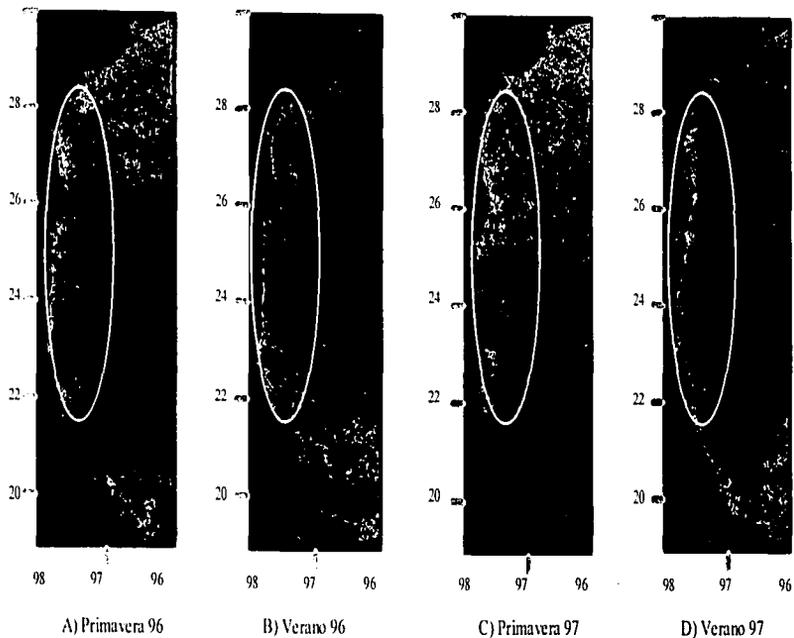
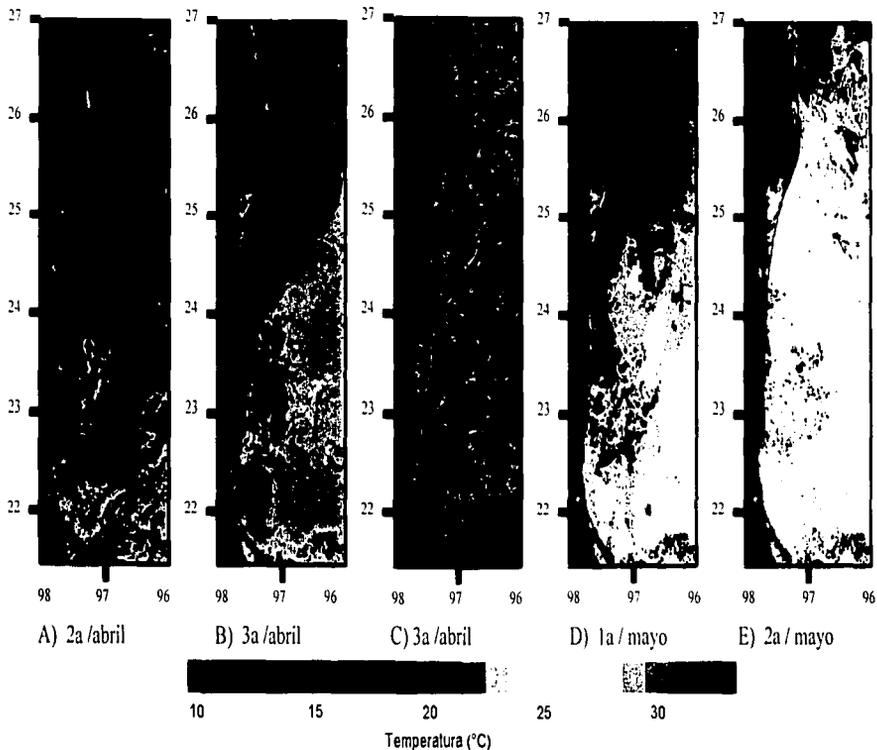


Fig. A.4.- Imágenes que representan el primer componente de los períodos de primavera y verano de 1996 (A y B) y 1997 (C y D). En las cuatro imágenes se observa la presencia de una pluma a partir de los paralelos 22 ó 23. En verano es más estrecha. Los colores no representan valores de temperatura. Estas imágenes son similares a las mostradas en la figura 3.1 y 3.2 para el período 1989-1993, sin embargo, su resolución espacial (9 km) dificulta detectar la pluma.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. A.5.1 Compuestos semanales de abril y mayo de 1996. En las imágenes de la segunda y tercera semana se aprecia una estructura ciclónica que está destacada en el diagrama C. Los compuestos de la 1 y 4 semana de abril tenían demasiadas nubes. En la imagen B se aprecia la circulación hacia el Sur entre los paralelos 26 y 24, la cual se muestra de manera esquemática en la imagen C. En ese dibujo las flechas indican el posible sentido de la circulación pero no la velocidad de la corriente. En las imágenes D y E no es posible apreciar ese patrón y se destaca la homogeneización paulatina de la TSM. Las manchas negras son nubes.

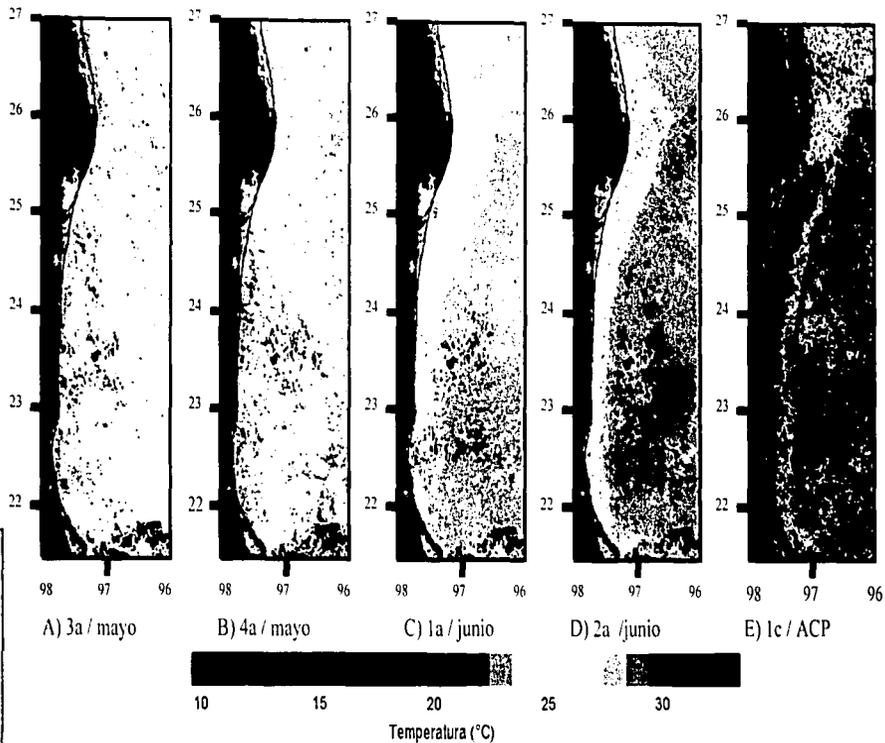


Fig. A.5.2 Compuestos correspondientes a la 2 y 3 semana de mayo (A y B) y a las dos quincenas de junio (D y E) de 1996. Es evidente la homogeneización de la TSM, no obstante cerca de la línea de costa la temperatura es menor. La imagen E es el primer componente resultante de un Análisis de Componentes principales aplicado a estas 4 imágenes y en ella se aprecia el sentido de la circulación. Como en la imagen anterior las flechas indican el posible sentido de la circulación pero no la magnitud de la corriente.

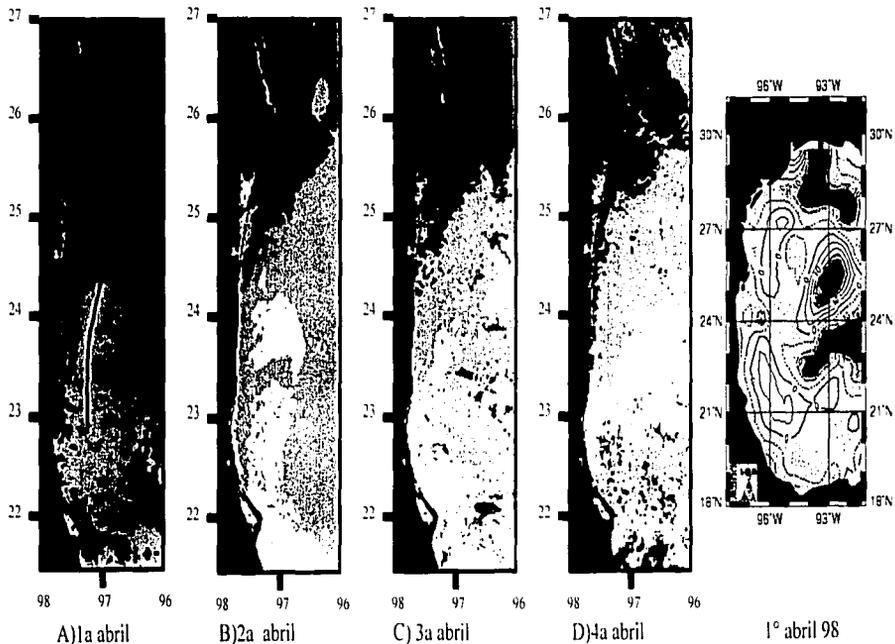
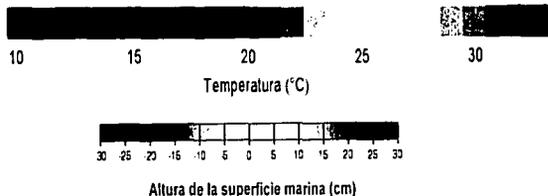
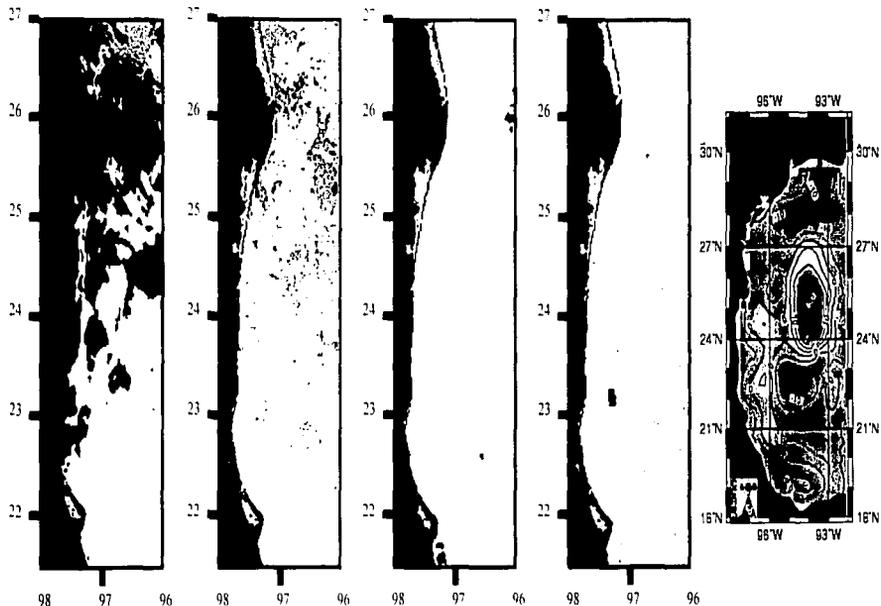


Fig A.6.1. Compuestos semanales obtenidos en 1998. La imagen de la extrema derecha es una representación de la altura de la superficie marina obtenida de la página web de la Universidad de Colorado.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



E) 1a mayo

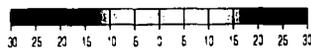
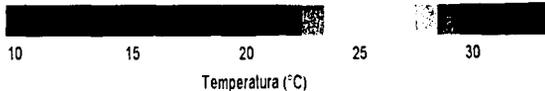
F) 2a mayo

G) 3a mayo

H) 4a mayo

I) 1° mayo 98

Fig A.6.2. Compuestos semanales obtenidos en 1998. La imagen de la extrema derecha es una representación de la altura de la superficie marina obtenida de la página web de la Universidad de Colorado.



Altura de la superficie marina (cm)

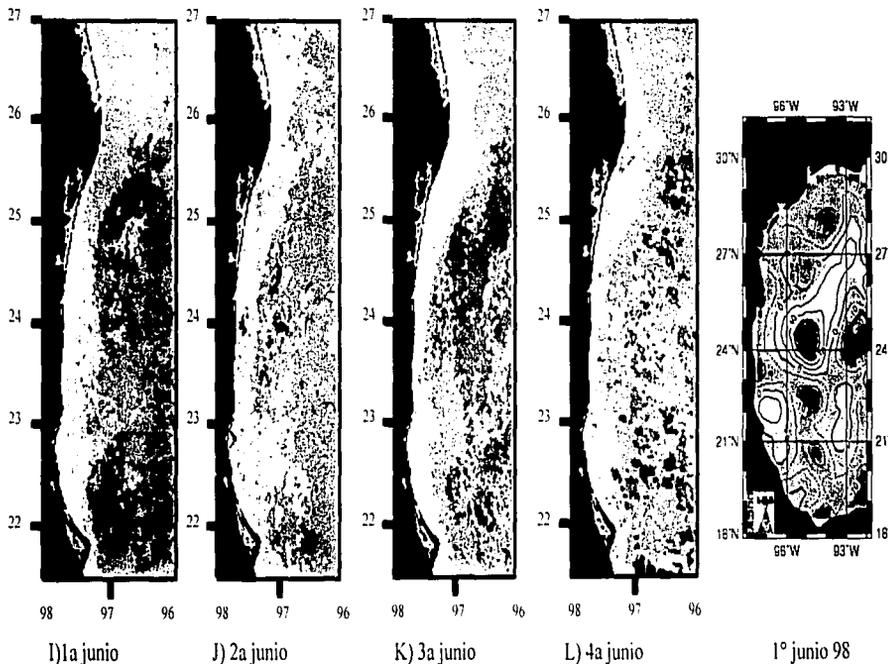
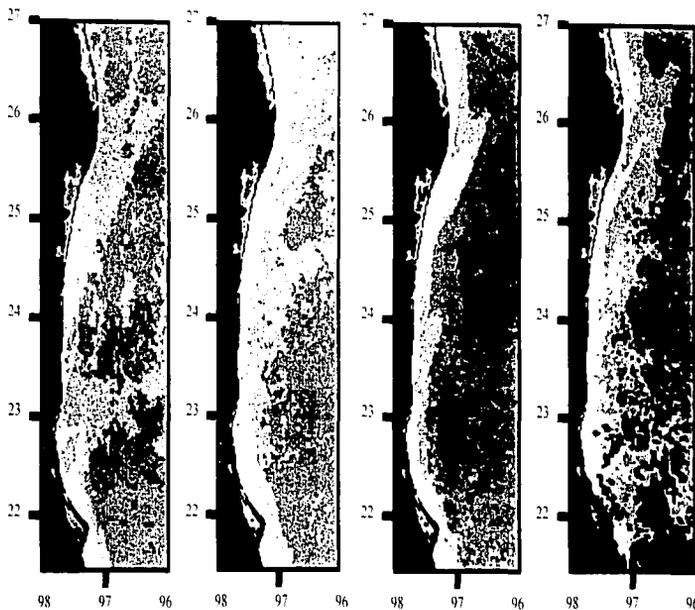


Fig. A.6.3. Compuestos semanales obtenidos en 1998. La imagen de la extrema derecha es una representación de la altura de la superficie marina obtenida de la página web de la Universidad de Colorado.

Altura de la superficie marina (cm)



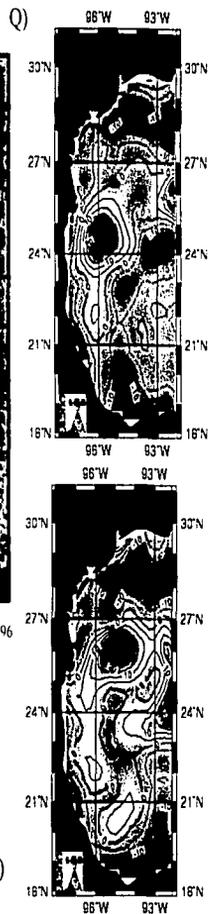
M) 1a julio

N) 2a julio

O) 3a julio

P) 4a julio

Fig A.6.4. Compuestos semanales obtenidos en 1998. Las imágenes de la extrema derecha son una representación de la altura de la superficie marina obtenida de la página web de la Universidad de Colorado. Las imágenes Q y R corresponden al 1 y 28 de julio respectivamente.



R)



En esos meses la temperatura en la costa es más baja porque el agua que viene del Norte (de la desembocadura de los ríos Bravo y Soto la Marina, por ejemplo) es más fría y también porque la capa de mezcla en las inmediaciones de la costa pierde calor a mayor velocidad que la de la zona oceánica, especialmente cuando pasan los frentes fríos (Mann y Lazier, 1996). Esto favorece la presencia de un frente coincidente con el límite de la plataforma y puede ser una explicación de porque la pluma de invierno-primavera es más ancha que la de verano.

La interacción de los anticiclones con el talud estimula la formación de giros ciclónicos, los que a su vez también son impulsados por el paso de los Nortes. Esto facilita la salida de agua de la plataforma hacia el océano en la frontera entre los giros ciclónico y anticiclónico, la cual se ha localizado al Sur del Río Bravo en la mayoría de las imágenes. El delta de este río favorece la intrusión de la corriente hacia la plataforma continental texana.

En abril o mayo, es probable que la pluma sea menos conspicua porque al cambiar el régimen de vientos y disminuir la influencia de los Nortes, se reduce la advección hacia el Sur y la pérdida de calor en la capa de mezcla. A esto hay que agregar que en este periodo se contrae el giro ciclónico en la plataforma de Texas y Luisiana, lo que también limita el aporte de agua fría de esa zona y de la desembocadura de los ríos hacia Tamaulipas. Por otra parte, al disminuir la presencia de los Nortes también es probable que la circulación anticiclónica invada, en alguna medida, la plataforma continental, particularmente si coincide con la llegada de alguno de los giros provenientes del Este del Golfo, tal como aparentemente ocurrió en 1998.

En las imágenes de altimetría se observa que la presencia de los giros anticiclónicos es permanente durante el verano. En 1998, los "filamentos" de menor temperatura que se aprecian en las imágenes térmicas de la tercera semana de junio coinciden con las fronteras entre un anticiclón y un ciclón detectados en la imagen de altimetría. Esto permite demostrar que el frente y la temperatura registrada en la zona costera (2-3 °C más baja que en la zona marina) pueden ser resultado de una surgencia moderada (Howard *et al.*, 1996). Entre octubre y noviembre vuelve a cambiar el régimen de vientos, lo que reduce la manifestación de la pluma. Posteriormente reaparece el patrón de circulación invernal.

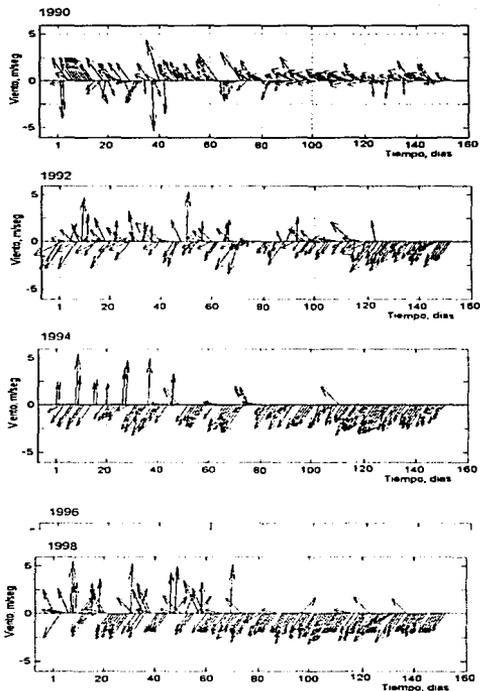


Fig. A.7.- Variaciones en la dirección y velocidad del viento. Los intervalos corresponden a : 1-30 abril, 31 a 62 a mayo, 63 a 92 a junio, 93 a 124 a julio y el resto a agosto.

Las flechas que apuntan hacia el Norte indican la presencia de los "Nortes". El resto señalan el origen E y SE prevalectente durante el régimen de los vientos Alisios.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Temperatura en la plataforma continental.

Aunque en apariencia existen diferencias de temperatura en el Golfo entre los años comprendidos en el lapso 1989 y 1993, el Análisis de Varianza elaborado con los valores obtenidos de las imágenes, indica que las diferencias no fueron significativas ( $F=0.31$ ; g.l. 4,54;  $p=0.9$ ). El análisis de los datos de los transectos de la plataforma continental tampoco mostró resultados significativos ( $F=0.19$ ; g.l. 4, 1;  $p=0.9$ ), ya que las temperaturas promedio anuales variaron entre 25.5 y 25.9 °C (Fig. A.8).

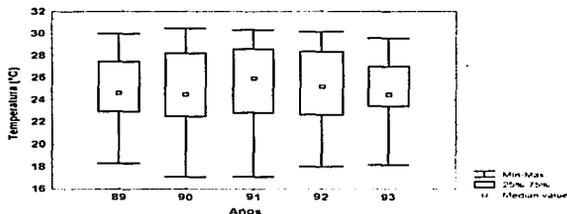


Fig. A.8.- Valores de temperatura superficial marina registrados en la plataforma continental utilizando todos los registros obtenidos en los transectos ubicados sobre cada uno de los paralelos comprendidos entre los 21 y 27° N.

Sin embargo, a pesar de los resultados de los análisis elaborados con la totalidad de los datos, el diagrama de superficie (Fig. A.9) muestra diferencias interanuales y variaciones espaciales en la plataforma continental comprendida entre los paralelos 21 y el 27° N.

En la figura A.9B se muestran los valores promedio obtenidos entre abril de 1996 y diciembre de 1997 y aunque no fueron comparables con el lapso 1989-1993, se aprecia que la temperatura en 1996 fue menor que la de 1997 y que el invierno fue frío.

Los análisis mostraron que la temperatura presentó un ciclo muy conspicuo a lo largo del año. El ANDEVA detectó diferencias significativas ( $F=21.4$ , g.l. 11,406,  $p=0.01$ ) entre los meses y el Análisis de Duncan permitió distinguir dos periodos, dentro de los cuales la variable presentó menos diferencias. El primero, correspondió a diciembre - marzo y los meses en los que la temperatura fue más baja fueron febrero y marzo. El lapso más cálido fue de junio a septiembre, y los meses con mayor temperatura fueron junio y julio. Abril y mayo presentaron condiciones intermedias entre ambos intervalos (Fig. A.9A).

En el lapso enero-julio del periodo 1989-1993, la temperatura se encontró entre 17.6 y 27.5 °C (Tabla A.4A). Al hacer las comparaciones de cada uno de los meses a lo largo de los años, se encontraron diferencias significativas entre los intervalos enero-marzo y mayo-junio. En el primero las temperaturas más elevadas se encontraron en 1989 y 1993, mientras que en el segundo lapso en 1991 (Tabla A.4A).

Variación de la temperatura en la plataforma continental del Golfo de México.

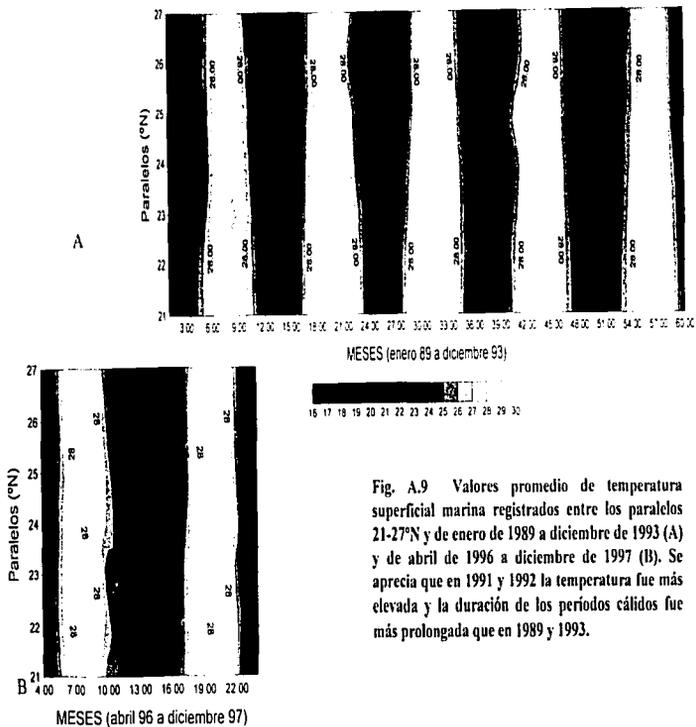


Fig. A.9 Valores promedio de temperatura superficial marina registrados entre los paralelos 21-27°N y de enero de 1989 a diciembre de 1993 (A) y de abril de 1996 a diciembre de 1997 (B). Se aprecia que en 1991 y 1992 la temperatura fue más elevada y la duración de los periodos cálidos fue más prolongada que en 1989 y 1993.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En abril las diferencias fueron significativas al 90% de confianza y en julio no fueron significativas, (Tabla A.4 B) aunque en ambos casos los registros más cálidos correspondieron a 1991. Estas variaciones posiblemente contribuyan a explicar las diferencias en los patrones de distribución temporal y espacial de las tortugas sobre la playa entre esos 5 años.

Tabla A.4.- Temperatura superficial marina (°C). A) Promedios mensuales ( $\pm$  desviaciones estándar) B) Resultados del ANDEVA aplicado a los registros entre años. Las similitudes fueron establecidas con el Análisis de Duncan al 95% de confianza.

A						
Mes	89	90	91	92	93	Total
Enero	22.91 $\pm$ 2.62	20.82 $\pm$ 4.01	22.54 $\pm$ 1.45	19.29 $\pm$ 7.50	20.55 $\pm$ 7.79	21.22 $\pm$ 4.67
Febrero	18.49 $\pm$ 8.44	20.74 $\pm$ 5.38	18.68 $\pm$ 7.80	19.28 $\pm$ 6.04	17.67 $\pm$ 8.85	18.97 $\pm$ 7.47
Marzo	20.38 $\pm$ 6.00	20.31 $\pm$ 5.61	20.81 $\pm$ 5.81	19.97 $\pm$ 6.25	20.64 $\pm$ 6.84	20.42 $\pm$ 6.10
Abril	21.75 $\pm$ 7.17	20.56 $\pm$ 8.40	22.44 $\pm$ 6.72	22.77 $\pm$ 6.66	21.62 $\pm$ 5.84	21.83 $\pm$ 7.02
Mayo	24.13 $\pm$ 6.50	25.40 $\pm$ 6.83	25.18 $\pm$ 7.30	24.36 $\pm$ 6.64	23.86 $\pm$ 6.44	24.58 $\pm$ 6.75
Junio	25.98 $\pm$ 6.99	26.74 $\pm$ 7.19	27.51 $\pm$ 7.40	26.86 $\pm$ 7.23	25.11 $\pm$ 7.24	26.44 $\pm$ 7.23
Julio	26.34 $\pm$ 8.11	26.08 $\pm$ 8.23	26.27 $\pm$ 8.13	26.30 $\pm$ 8.11	25.96 $\pm$ 8.00	25.94 $\pm$ 8.43
Total	22.85 $\pm$ 7.31	22.97 $\pm$ 7.23	23.38 $\pm$ 7.45	22.99 $\pm$ 7.48	22.28 $\pm$ 7.79	21.99 $\pm$ 8.50

B					
Mes	F	g.l.	p	Similitudes	
Enero	10.7	4.28	<0.01	89=93; 90=91=92	
Febrero	3.35	4.29	0.02	89=93; 91=92	
Marzo	3.73	4.29	0.014	89=93; 90=92	
Abril	2.68	4.29	0.051	89=93; 90=91=92	
Mayo	8.39	4.29	<0.01	89=92=93; 90=91	
Junio	95.16	4.29	<0.01	89=93; 90=91=92	
Julio	1.13	4.28	0.35	89=90=91=92=93	

Además de los cambios temporales descritos, también se registraron diferencias latitudinales (F= 5.03; g.l. 6,410; p<0.01). En general, como se aprecia en el diagrama de superficie (Fig. A.9), al Norte de los 24° N la temperatura fue más baja que hacia el Sur de esa latitud, con la excepción del paralelo 25 en 1992, en donde se alcanzaron valores similares a los obtenidos en los paralelos 21 a 23 en ese mismo año

Entre los años se presentaron variaciones significativas (Tabla A.5 A y B), particularmente en el área comprendida entre los paralelos 21 y 24° N, como lo muestran los cocientes de varianza F. Los registros de 1991 fueron significativamente diferentes (y mayores al resto de los años) entre los paralelos 21 y 23, mientras que en el paralelo 24 también se distinguieron los de 1989, pero por su bajo valor.

Entre los paralelo 25 y 27° N, las diferencias entre los años no fueron significativas, excepto en 1992, cuando la temperatura fue mayor. En el paralelo 27° N las variaciones, aunque significativas, fueron menores a las registradas en otros años.

Tabla A.5.- Temperatura superficial marina (°C). A) Promedios por paralelo ( $\pm$  desviaciones estándar) B) Resultados del ANDEVA aplicado a los registros por paralelo. Las similitudes fueron establecidas con el Análisis de Duncan al 95% de confianza.

Paralelos	A					Total
	89	90	91	92	93	
21	25.87 $\pm$ 1.99	25.64 $\pm$ 3.57	26.04 $\pm$ 4.35	25.30 $\pm$ 4.57	25.43 $\pm$ 3.21	25.01 $\pm$ 5.35
22	22.55 $\pm$ 8.74	22.81 $\pm$ 8.32	23.24 $\pm$ 8.76	22.28 $\pm$ 9.00	21.63 $\pm$ 9.19	21.98 $\pm$ 9.29
23	24.02 $\pm$ 6.30	23.80 $\pm$ 6.66	24.61 $\pm$ 6.66	23.32 $\pm$ 7.82	22.43 $\pm$ 8.49	22.76 $\pm$ 8.33
24	20.96 $\pm$ 8.71	22.16 $\pm$ 8.44	22.17 $\pm$ 9.45	21.84 $\pm$ 8.50	21.54 $\pm$ 8.61	20.80 $\pm$ 9.54
25	23.50 $\pm$ 5.92	23.73 $\pm$ 5.15	22.96 $\pm$ 6.77	25.25 $\pm$ 5.23	22.38 $\pm$ 7.50	22.25 $\pm$ 7.99
26	20.97 $\pm$ 8.70	21.31 $\pm$ 8.07	22.17 $\pm$ 7.52	21.00 $\pm$ 8.19	21.34 $\pm$ 7.84	20.61 $\pm$ 8.78
27	22.06 $\pm$ 7.24	21.35 $\pm$ 8.10	22.37 $\pm$ 6.95	22.06 $\pm$ 6.80	21.11 $\pm$ 7.59	20.64 $\pm$ 8.57
Total	22.85 $\pm$ 7.31	22.97 $\pm$ 7.23	23.38 $\pm$ 7.45	22.99 $\pm$ 7.48	22.28 $\pm$ 7.79	21.99 $\pm$ 8.50

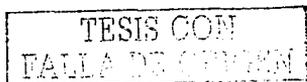
Paralelos	B			
	F	g.l.	p	Similitudes
21	13.24	4,464	<0.01	89=90=92=93, 91
22	11.05	4,407	<0.01	89=90=92=93, 91
23	7.79	4,425	<0.01	89=90=92=93, 91
24	11.12	4,397	<0.01	89, 91, 90=92=93
25	4.29	4,430	0.02	89=90=91=93, 92
26	4.47	4,411	0.01	89=90=91=93, 92
27	2.56	4,417	0.03	89=90=91=93, 92

En los años analizados la tasa de incremento de la temperatura (TC) entre invierno y primavera se estimó entre 1.035 °C/mes y 1.085 °C/mes (Tabla A.6). Las TC presentaron cambios latitudinales, por lo que los valores más bajos se obtuvieron en el paralelo 21 (1.035-1.058 °C/mes) y los más altos en el 27 (1.060-1.085 °C/mes). De acuerdo con el Análisis de Covarianza y el de comparaciones múltiples de Newman Keuls, las TC de los paralelos 25 al 27 no fueron significativamente diferentes entre ellas, aunque sí de las estimadas hacia el Sur del paralelo 24.

Tabla A.6.- Variaciones térmicas estacionales (°C /mes) estimadas entre 1989 y 1993

Años	Paralelos (°N)						Promedio	
	21	22	23	24	25	26		27
89	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05	1.06	1.07	1.05
90	1.05	1.05	1.06	1.05	1.06	1.07	1.09	1.06
91	1.04	1.04	1.05	1.05	1.07	1.08	1.08	1.06
92	1.06	1.05	1.05	1.05	1.08	1.07	1.09	1.07
93	1.03	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05	1.06	1.05
Promedio	1.04	1.05	1.05	1.05	1.06	1.06	1.08	1.06

Por otra parte, las comparaciones entre años indican que las TC de 1989 y 1993 fueron significativamente más pequeñas que las del lapso 1990 y 1992 en casi todos los paralelos, excepto en el 24° N, en donde las diferencias no fueron significativas (Fig. A.10). En el paralelo 25 la TC de 1992 fue mayor que la de otros años y similar a las tasas del paralelo 27, lo que posiblemente refleja la proximidad de una estructura cálida al borde externo de la plataforma



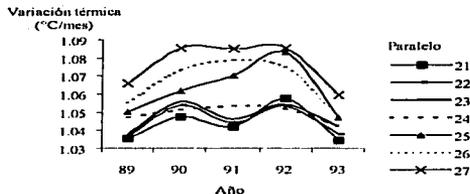


Fig. A.10.- Variaciones anuales de la tasa de incremento de la temperatura (TC) entre invierno y primavera.

Se estimó la magnitud de los cambios de temperatura entre meses consecutivos ( $\Delta T_m$ ) para el intervalo febrero - julio y se encontró que las diferencias más grandes ( $F = 52.81$ , g.l. 6,236;  $p < 0.01$ ) ocurrieron entre marzo y junio, particularmente entre abril y mayo (diferencia 5-4 mostrada en la Fig. A.11B) cuando fluctuaron entre 1.86 y 2.83  $^{\circ}\text{C}/\text{mes}$  en promedio. Las diferencias entre febrero y marzo y entre junio y julio fueron pequeñas y no mostraron diferencias significativas entre los paralelos o los años. Por otra parte, las  $\Delta T_m$  más grandes se obtuvieron en 1991 (promedio = 2.41  $^{\circ}\text{C}/\text{mes}$ ) y las mínimas en 1993 (promedio = 1.48  $^{\circ}\text{C}/\text{mes}$ ), aunque éste último año fue el único significativamente diferente (Fig. A.11A).

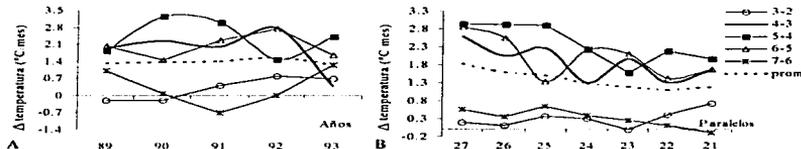


Fig. A.11.- Diferencia de temperatura entre meses consecutivos ( $\Delta T_m$ ) estimada para el período 1989-1993. A) Variaciones anuales. B) Cambios latitudinales. Claves: 2: febrero; 3: marzo; 4: abril; 5: mayo; 6: junio; 7: julio; prom = promedio.

En el intervalo marzo-junio, las fluctuaciones más grandes se encontraron en los paralelos 26 y 27 $^{\circ}$  N, aunque las diferencias entre los meses fueron similares entre ellos (Fig. A.11B). En el paralelo 25 las diferencias entre marzo-abril y abril-mayo fueron mayores a 2  $^{\circ}\text{C}$ , mientras que se redujeron significativamente en el bimestre posterior. En los paralelos ubicados al Sur, los cambios entre meses fueron menores, particularmente en el paralelo 23, donde se encuentra la zona de anidación (Fig. A.11B).

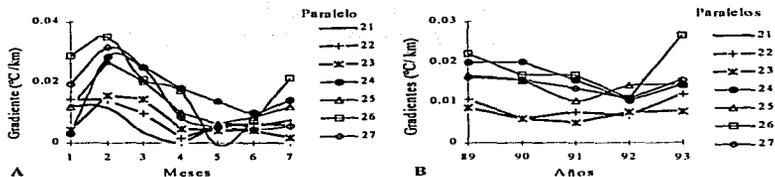


Fig. A.12.- Gradientes sobre los paralelos. A) Promedios mensuales. B) Medias anuales.

Los gradientes térmicos a lo largo de los paralelos (G) también fueron estimados para el lapso enero-julio a partir de la pendiente de una regresión lineal simple y como las variaciones estacionales, mostraron diferencias latitudinales y temporales (Fig. A.12). En los paralelos ubicados al Norte del 24, las pendientes promedio fueron más grandes que al Sur de ese paralelo (Tablas A.7A y B).

Tabla A.7.- Gradientes sobre los transectos ( $E10^{-2}$ ). A) Promedios anuales  $\pm$  Desv. estándar. B) Promedios mensuales  $\pm$  Desv. estándar. Unidades:  $^{\circ}C / km$ .

A								
Año	21	22	23	24	25	26	27	Promedio
89	0.93 $\pm$ 0.06	1.08 $\pm$ 0.07	0.86 $\pm$ 0.06	1.99 $\pm$ 0.03	1.66 $\pm$ 0.05	2.21 $\pm$ 0.13	1.61 $\pm$ 0.13	1.48 $\pm$ 0.1
90	0.42 $\pm$ 0.05	0.58 $\pm$ 0.04	0.58 $\pm$ 0.10	2.0 $\pm$ 0.05	1.52 $\pm$ 0.13	1.66 $\pm$ 0.13	1.54 $\pm$ 0.19	1.19 $\pm$ 0.12
91	0.49 $\pm$ 0.05	0.74 $\pm$ 0.08	0.49 $\pm$ 0.08	1.55 $\pm$ 0.19	1.02 $\pm$ 0.15	1.66 $\pm$ 0.13	1.34 $\pm$ 0.15	1.04 $\pm$ 0.13
92	0.88 $\pm$ 0.07	0.65 $\pm$ 0.05	0.75 $\pm$ 0.10	1.04 $\pm$ 0.15	1.40 $\pm$ 0.10	1.08 $\pm$ 0.16	1.07 $\pm$ 0.07	0.97 $\pm$ 0.1
93	0.57 $\pm$ 0.11	1.2 $\pm$ 0.18	0.78 $\pm$ 0.13	1.44 $\pm$ 0.19	1.42 $\pm$ 0.12	2.65 $\pm$ 0.26	1.55 $\pm$ 0.17	1.38 $\pm$ 0.18
Prom.	0.66 $\pm$ 0.07	0.84 $\pm$ 0.1	0.69 $\pm$ 0.09	1.6 $\pm$ 0.14	1.41 $\pm$ 0.11	1.85 $\pm$ 0.17	1.42 $\pm$ 0.14	1.21 $\pm$ 0.13

B								
Mes	21	22	23	24	25	26	27	Promedio
Enero	1.21 $\pm$ 0.34	1.45 $\pm$ 1.46	0.45 $\pm$ 0.05	0.31 $\pm$ 1.9	1.17 $\pm$ 1	2.88 $\pm$ 2.08	1.94 $\pm$ 1.18	1.34 $\pm$ 1.52
Febrero	1.15 $\pm$ 0.69	1.39 $\pm$ 0.75	1.56 $\pm$ 0.91	2.84 $\pm$ 1.1	2.69 $\pm$ 0.94	3.49 $\pm$ 1.42	3.17 $\pm$ 0.89	2.33 $\pm$ 1.26
Marzo	0.33 $\pm$ 0.31	0.98 $\pm$ 0.63	1.43 $\pm$ 0.38	2.5 $\pm$ 0.88	2.04 $\pm$ 0.65	2.09 $\pm$ 0.9	2.51 $\pm$ 1.06	1.7 $\pm$ 1.02
Abril	0.02 $\pm$ 0.31	0.15 $\pm$ 0.64	0.46 $\pm$ 0.55	1.81 $\pm$ 0.92	1.2 $\pm$ 0.93	1.71 $\pm$ 0.61	0.86 $\pm$ 0.37	0.86 $\pm$ 0.89
Mayo	0.59 $\pm$ 0.4	0.55 $\pm$ 0.51	0.39 $\pm$ 0.24	1.36 $\pm$ 0.62	0.63 $\pm$ 0.59	-0.06 $\pm$ 0.78	0.53 $\pm$ 0.47	0.57 $\pm$ 0.63
Junio	0.57 $\pm$ 0.7	0.63 $\pm$ 0.55	0.41 $\pm$ 0.67	1.0 $\pm$ 0.89	0.83 $\pm$ 0.64	0.74 $\pm$ 0.5	0.43 $\pm$ 0.55	0.66 $\pm$ 0.63
Julio	0.72 $\pm$ 0.8	0.57 $\pm$ 0.69	0.16 $\pm$ 0.69	1.4 $\pm$ 0.45	1.2 $\pm$ 0.75	2.12 $\pm$ 0.66	0.52 $\pm$ 0.54	0.95 $\pm$ 0.87
Promedio	0.66 $\pm$ 0.64	0.82 $\pm$ 0.86	0.69 $\pm$ 0.82	1.6 $\pm$ 1.26	1.37 $\pm$ 1	1.85 $\pm$ 1.53	1.42 $\pm$ 1.26	1.2 $\pm$ 1.16

Las diferencias más grandes entre los gradientes de los paralelos ubicados al Norte y Sur del 24, se presentaron en febrero y marzo (Fig. A.12A), a partir de abril disminuyeron paulatinamente, por lo que en junio fueron estadísticamente similares, sin embargo, en julio nuevamente se encontraron diferencias significativas (Tabla A.8B)

La comparación visual de los valores anuales (Fig. A.12B) mostró que las pendientes fueron más grandes en 1989 y 1993 y menores en 1991 y 1992, sin embargo esas diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $F = 1.83$ , g.l. 4, 239;  $p = 0.12$ ). Aunque el Análisis de Duncan

sugirió que podrían existir diferencias entre 1989 y 1991 ( $p = 0.089$ ) y entre 1989 y 1992 ( $p = 0.054$ )

También se compararon los valores mensuales en cada paralelo (Tabla A.7B) y se encontró que en el intervalo 25 - 27 °N los gradientes pudieron agruparse en 2 conjuntos: febrero- marzo y mayo-julio (Tabla A.8A). En el paralelo 24 el primer lapso se prolongó hasta mayo, mientras que en el 23 se redujo a febrero y marzo y el segundo abarcó de abril a julio. En los paralelos al Sur, las diferencias fueron menos acusadas.

En la tabla A.8B se muestran las comparaciones realizadas entre los paralelos para cada intervalo mensual. En enero y julio los gradientes fueron estadísticamente similares, mientras que en los meses intermedios se encontraron diferencias entre los paralelos ubicados al Norte y al Sur del 24° N.

Tabla A.8.- Comparaciones de los gradientes sobre los transectos mensual y por paralelo.

		A			
Paralelos	F	g.l.	p	Similitud entre meses	
27	10.15	6,28	<0.01	I, II=III, IV=V=VI=VII	
26	5.77	6,28	<0.01	I, II=III, IV, V=VI=VII	
25	4.42	6,27	<0.01	I, II=III, IV, V=VI=VII	
24	3.38	6,28	0.012	II=III=IV=V, VI=VII	
23	3.22	6,28	0.015	II=III, IV=V=VI=VII	
22	1.64	6,27	0.17	I=II=III=IV=V=VI=VII	
21	3.019	6,28	0.02	I, II, III=IV=V=VI=VII	

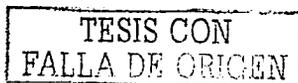
  

		B			
Meses	F	g.l.	p	Similitud entre paralelo	
Enero	1.96	6,27	0.10	21=22=23=24=25=26=27	
Febrero	4.55	6,28	<0.01	21=22=23 24=25=26=27	
Marzo	6.24	6,28	<0.01	21=22 23 24=25=26=27	
Abril	5.79	6,28	<0.01	21=22=23 24=25=26, 27	
Mayo	3.07	6,28	0.02	21=22=23 24 25=26=27	
Junio	0.53	6,28	0.77	21=22=23=24=25=26=27	
Julio	4.99	6,28	<0.01	21=22=23 24,25,26,27	

### *Influencia de los eventos atmosféricos en la temperatura superficial marina.*

En este trabajo se elaboraron análisis de regresión lineal y de correlación cruzada de los valores promedio de la temperatura superficial de los transectos 21 a 27 del intervalo 1989-1993 con el Índice Multivariado del Niño o MEI (Wolter, com. pers.) para probar que el ENSO modifica esa variable en los corredores migratorios. La única relación significativa se obtuvo entre los valores de temperatura del paralelo 23 y los valores desfasados (+4) del índice, pero el coeficiente de determinación fue muy bajo ( $r^2 = 0.071$ ,  $p = 0.048$ ) y el signo de la pendiente fue positivo, lo que indica que la relación entre la temperatura y el MEI fue directa, en contradicción con lo establecido en la hipótesis.

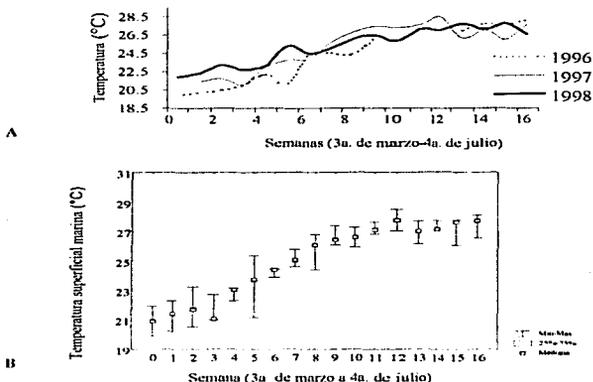
Es probable que la longitud de la serie de tiempo haya sido insuficiente para detectar la influencia de este evento sobre la plataforma de Tamaulipas, aunque también es factible que el efecto del Niño del invierno 1992-1993 haya sido menos conspicuo, como lo indica Gutiérrez de Velasco (1996), particularmente al compararlo con el de 1982-1983.



**Variaciones térmicas en la plataforma continental frente a Rancho Nuevo durante la temporada de anidación de la tortuga lora. Escala semanal.**

La temperatura semanal fue analizada en las imágenes tipo 5. Los registros se encontraron entre 19.7 y 28.1 °C (los datos de 1996 y 1998 se muestran en la tabla A.9). La temperatura media más baja se obtuvo en 1996 ( $24.1 \pm 3.05$  °C), mientras que los valores de 1997 y 1998, no fueron significativamente diferentes (25.3 °C en promedio).

La variable presentó cambios bruscos durante este lapso (figuras A.13A y B). Los más grandes se encontraron entre las semanas 4 y 6, cuando variaron entre  $-1.11$  y  $3.25$  °C/semana, mientras que en el resto del periodo analizado fueron menores a 1 °C, con la excepción de las semanas 12 a 16 de 1997, cuando alcanzaron hasta 2 °C/semana.



**Fig. A.13.- Variación semanal de la temperatura superficial marina entre la tercera semana de marzo y la cuarta de julio del periodo 1996-1998 (A). En la figura B se muestra la variación y el promedio en un gráfico de cajas y bigotes y en el cual se destaca la variabilidad de la 5ª semana.**

Las diferencias que se presentaron en las primeras semanas de mayo, posiblemente fueron resultado de la desaparición del frente térmico y de la reducción del giro ciclónico de la plataforma Texas-Luisiana, por lo que el agua proveniente de esa zona es sustituida por las masas cálidas del Centro del Golfo.

También es probable que muestren el efecto de eventos meteorológicos de corta duración, tales como la presencia de Nortes en abril y posteriormente de las lluvias de verano, cuyo registro en la estación meteorológica de Barra del Tordo mostró un pequeño pico en junio. En algunos casos

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

reflejaron las limitaciones de estas imágenes, tal como ocurrió en la quinta semana de 1998, cuando el número de píxeles útiles fue menor que en otras semanas de ese año.

Sin embargo, aunque el ANDEVA arrojó resultados significativos ( $F= 16.7$ ; g.l. 2,16;  $p<0.001$ ), el método de Duncan fue incapaz de separar a las semanas distintas, puesto que no hubo diferencias significativas entre intervalos subsecuentes, por ejemplo, entre las semanas 0-4, posteriormente entre a 1-4, la 2-5, la 3-5, etc.

La tasa de incremento semanal, estimada a partir de la pendiente de una ecuación de regresión lineal simple, no mostró diferencias significativas entre los dos años, según el análisis de Covarianza aplicado, aunque fue mayor en 1996 y decreció en los dos años posteriores.

En algunas semanas de 1996 y 1997 una elevada proporción de las imágenes estuvo cubierta por nubes. En contraste, en 1998, con la excepción de la primera semana de mayo, fue posible obtener imágenes con una cobertura nubosa menor al 1% (Fig. A.14)

Para detectar el efecto de la nubosidad en la temperatura se utilizó como indicador la proporción de la imagen cubierta por nubes. Los análisis de regresión simple no fueron significativos ( $r^2= 0.01$ ,  $p= 0.7$ ) aunque el signo de la pendiente fue negativo ( $-0.017$ ), lo que implica que existe una relación inversa entre ambas variables. Sin embargo cabe la posibilidad de que la disminución de la temperatura sea consecuencia de las condiciones meteorológicas asociadas con la nubosidad, tales como la presencia de Nortes o de chubascos.

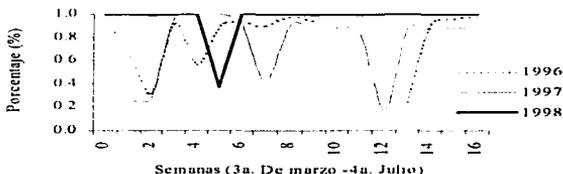


Fig. A.14.-Proporción de la imagen libre de nubes. En junio de 1996 la nubosidad fue muy alta por lo cual no fue posible elaborar promedios semanales y se perdió la información a esta escala.

La temperatura del aire es fuertemente influida por la nubosidad (ver Capítulo II), por lo cual es probable que las diferencias entre años en esta variable hayan contribuido a las variaciones de temperatura a esta escala.

En las imágenes semanales tipo 5 de 1996 y 1998 (Fig. A.15A y B), se utilizó el filtro Sobel para estimar la tasa promedio de cambio de intensidad entre píxel y píxel y por lo tanto obtener un estimador de las variaciones térmicas en toda la imagen (Tabla A.9).

En 1996 el valor absoluto de las pendientes se encontró entre 1.04 y 3.78 y se incrementó al uniformizarse la temperatura, como en la segunda semana de mayo, las dos quincenas de junio, la segunda y la cuarta semana de julio. Por otra parte, el Análisis de Covarianza y el de

comparaciones múltiples de Newman-Keuls, destacaron diferencias significativas entre tres grupos (Tabla A.9) aunque sus variaciones no mostraron alguna tendencia a lo largo de las semanas.

Las pendientes calculadas en 1998 variaron entre 2.42 y 9.54. Los análisis estadísticos permitieron reunirlos en 7 grupos (Fig. A.15C). Las pendientes más grandes, clasificadas dentro de los grupos 1 y 2, se detectaron en las dos primeras semanas de abril y las dos últimas de mayo, cuando aparentemente las condiciones fueron más uniformes, mientras que las más pequeñas se obtuvieron en junio y julio (grupos 5-7).

Tabla A.9.- Valor absoluto de las pendientes de los gradientes de temperatura. En junio de 1996 no fue posible elaborar promedios mensuales por lo que se utilizaron solo valores quincenales; en las semanas marcadas con NR la nubosidad fue muy elevada por lo que los gradientes no fueron representativos.

Sem	Mes	Sem*	Pendientes (96)	r <sup>2</sup> ajustada (96)	Temp. Prom.	Gpo.	N	Pendientes (98)	r <sup>2</sup> ajustada (98)	Temp. Prom.	Gpo.	N
0	3	4	2.61	0.71	19.88	1	21	3.60	0.90	21.92	6	20
1	4	1	NR				44	9.54	0.64	22.32	1	7
2	4	2	NR					7.84	0.67	23.25	2	7
3	4	3	1.30	0.60	21.01	3	24	3.48	0.94	22.72	6	21
4	4	4	NR					4.50	0.91	23.14	5	13
5	5	1	1.56	0.78	21.16	2	31	NR				
6	5	2	2.85	0.85	24.41	1	23	4.31	0.92	24.46	5	15
7	5	3	1.97	0.85	24.59	2	30	7.08	0.40	25.05	2	6
8	5	4	1.36	0.89	24.41	3	43	6.51	0.92	26.08	3	12
9	6	1	3.24	0.93	26.09	1	19	5.03	0.96	26.46	5	15
10	6	2	NR					2.42	0.92	25.95	7	27
11	6	3	3.07	0.78	26.84	1	21	4.85	0.95	27.14	5	14
12	6	4	NR					3.19	0.95	27.06	6	22
13	7	1	1.04	0.59	27.03	3	22	4.52	0.93	27.73	5	15
14	7	2	3.45	0.92	27.78	1	19	3.07	0.95	27.20	6	22
15	7	3	1.97	0.84	27.65	2	28	5.68	0.94	27.79	4	13
16	7	4	3.71	0.95	28.13	1	18	2.93	0.93	26.57	6	23

\*Orden de la semana dentro del mes correspondiente.

El número de intervalos de frecuencia, el valor absoluto de las pendientes y los coeficientes de determinación fueron menores en 1996 que en 1998 (Tabla A.9), lo cual fue un indicador de que en ese último año la temperatura superficial fue más homogénea. Esto implica que las diferencias térmicas sobre el área fueron menos acusadas, pero no es posible determinar las variaciones en la hidrodinámica.

La relación de las pendientes con la presencia del frente en forma de pluma no fue muy clara, sin embargo fueron más grandes cuando la temperatura se homogeneizó, como en junio de 1996 y la tercera semana de mayo. Este indicador no permite describir la distribución espacial de los gradientes, los cuales fueron mayores cerca de la costa y particularmente en las inmediaciones de los ríos (Figs. A.15)

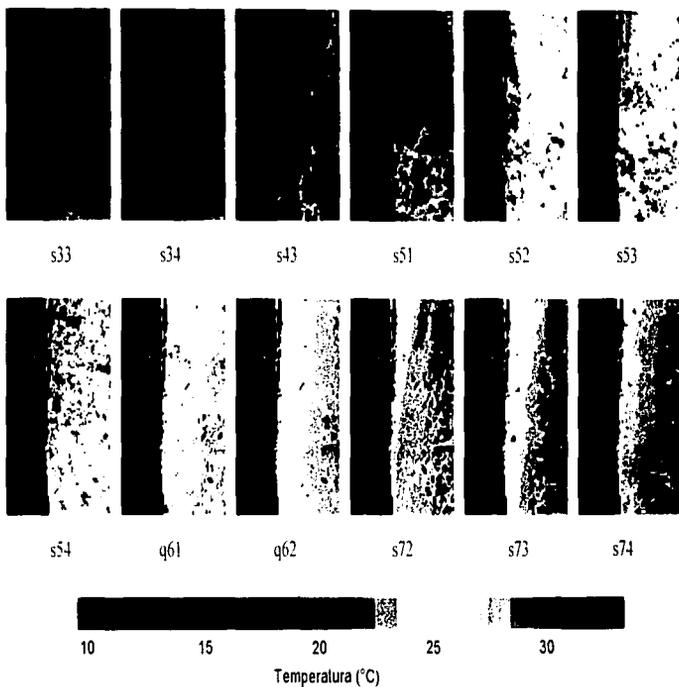


Fig. A.15 A. Temperatura superficial marina en la zona de anidación registrada en 1996. Se excluyeron los valores de la primera, segunda y cuarta semana de abril por la cantidad de nubes detectada. Las imágenes de junio corresponden a compuestos quincenales. Los títulos indican el mes y la semana correspondiente.

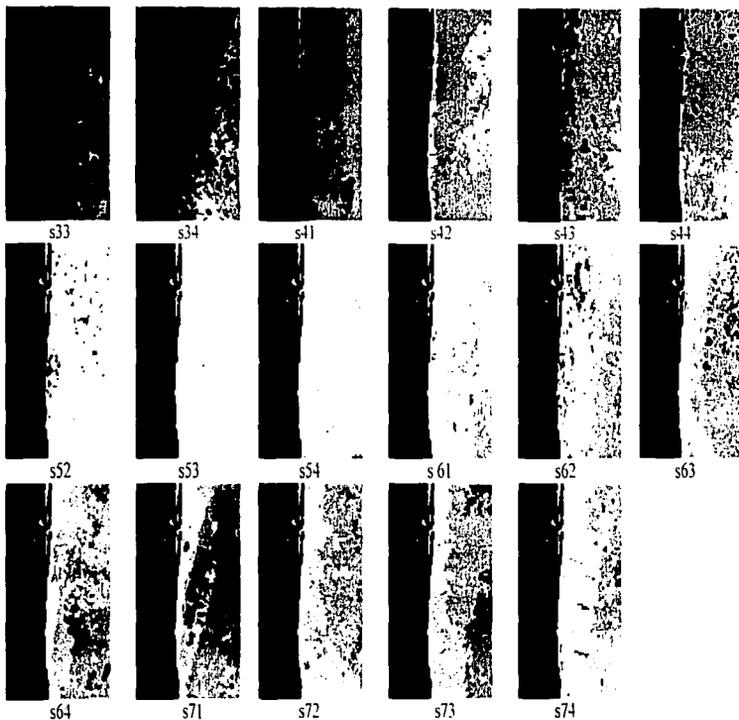


Fig. A.15 B. Temperatura superficial marina registrada en la zona de anidación en 1998.

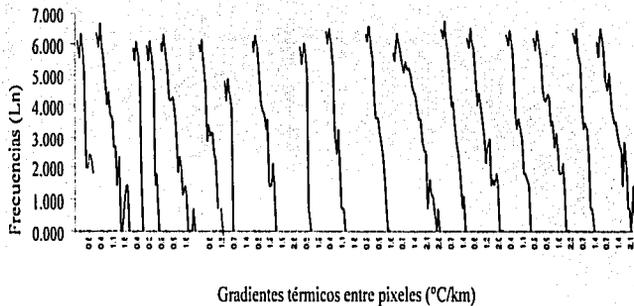


Fig. A.15C. Pendientes de las distribuciones de frecuencia de los gradientes térmicos. Las pendientes que son similares entre sí, de acuerdo a los resultados del Análisis de Covarianza y de comparaciones múltiples de Neuman Keuls, están dibujadas con el mismo color.



## DISCUSIÓN

La hidrodinámica de la plataforma continental mexicana del Golfo de México comprendida entre los paralelos 21-27° N presentó variaciones estacionales determinadas por la interacción de fenómenos oceánicos y meteorológicos.

En el período en el que ocurre la temporada de anidación, que abarca el final de la primavera y el verano, se termina el régimen de circulación invernal y hay un lapso de transición, previo al establecimiento del verano.

Durante el invierno es probable que las corrientes costeras tengan dirección Sur impulsadas por el patrón general de vientos (E, NE) y por el paso de los Nortes. El giro ciclónico de la plataforma continental de Texas y Luisiana favorece la advección hacia el Sur de los escurrimientos de la desembocadura del río Bravo y de la plataforma texana. Por el contrario, en el borde de la plataforma la corriente se dirige al Norte favorecida por la presencia constante de los anticiclones.

En esos meses la temperatura en la costa es más baja que en el borde de la plataforma, porque el agua proveniente del Norte es más fría y porque la zona nerítica pierde calor a mayor velocidad que la oceánica, particularmente durante el paso de los frentes fríos. Esto favorece la presencia de un frente que coincide con el límite de la plataforma y proporciona una explicación para la diferencia en anchura entre las plumas de invierno- primavera y verano.

La interacción de los anticiclones con el talud propicia la formación de giros ciclónicos, los que a su vez también pueden ser impulsados por el paso de los Nortes. En la frontera entre los giros ciclónico y anticiclónico se genera una corriente de chorro que transporta agua de la plataforma hacia el océano. Esta corriente se manifiesta como un frente que se localiza al Sur del Río Bravo en la mayoría de las imágenes. El delta de este río favorece la intrusión de la corriente hacia la plataforma continental texana.

En abril o mayo, es probable que la pluma sea menos conspicua e incluso desaparezca, porque al cambiar el régimen de vientos y menguar la influencia de los Nortes decrece la advección del agua fría hacia el Sur y la pérdida de calor en la capa de mezcla. A esto hay que agregar que en este período disminuye el giro ciclónico de la plataforma de Texas y Luisiana, lo que también limita el aporte de la plataforma texana y de la desembocadura de los ríos hacia la costa de Tamaulipas. Por otra parte, al aminorar la presencia de los Nortes también es probable que la circulación anticiclónica invada, en alguna medida la plataforma continental, particularmente si coincide con la llegada de alguno de los giros provenientes del Este del Golfo, tal como aparentemente ocurrió en 1998, lo cual reduce e incluso desaparece la presencia de la pluma frente a Tamaulipas porque la desplaza hacia el Norte.

Durante el verano, los alisios dominan el régimen de vientos, con direcciones dominantes Este y Sudeste, lo que según Fernández - Eguarte *et al.* (1993) impulsa la circulación hacia el Norte y Noroeste. Probablemente también produce un afloramiento moderado, ya que el sentido y la velocidad del viento se mantienen aproximadamente constantes. Por lo tanto, cuando reaparece la pluma el sentido de la corriente es predominantemente hacia el Norte, favorecido por la circulación anticiclónica, la corriente de frontera y los vientos alisios.

Aunque en este capítulo no se pretende analizar la influencia de este sistema en la distribución de los adultos y las crías, es evidente que la llegada de los adultos provenientes del Norte del Golfo

entre marzo y abril es favorecida por el patrón de circulación invernal, mientras que el veraniego puede ayudar a la dispersión de las crías y los adultos entre junio y septiembre.

Puesto que la pluma de verano es más estrecha que la de invierno, es posible suponer que las crías deben atravesar una distancia menor para llegar a la corriente que se dirige al Noreste, la cual las transportaría hacia la plataforma de Texas y Luisiana, en donde predomina la circulación ciclónica, la que favorece una elevada productividad (Abdullah Al-Abdulkader, 1996) en contraste con las condiciones de oligotrofia que imperan en la plataforma de Tamaulipas (Zamudio, 1998) y el Centro del Golfo.

Como se ha señalado en los antecedentes, la temperatura superficial marina está asociada con eventos meteorológicos y oceánicos de corto y mediano plazo. Aunque en este trabajo no se han relacionado ambos tipos de variables, es probable que la tasa a la que se incrementa la temperatura entre la primavera y el verano dependa de la frecuencia con la que se presenten los frentes fríos y del momento en que ocurre el cambio en el régimen de vientos. El efecto del fenómeno de El Niño no fue evidente en el análisis realizado posiblemente por la longitud de la serie de tiempo y por la variabilidad del impacto de los diferentes eventos ENSO en el Golfo de México (ver discusión del Capítulo II)

Con relación con la temperatura superficial marina, cabe señalar que los cambios en el Golfo de México a lo largo del tiempo no fueron significativos, en contraste con los que ocurrieron sobre la plataforma continental entre los paralelos 21 y 27° N. En este sentido, los meses más fríos se encontraron al final del invierno y los más cálidos al principio del verano. Entre estos dos periodos la temperatura se elevó rápidamente, aunque la velocidad con lo que esto ocurrió varió entre los años analizados. En consecuencia, los cambios entre los meses consecutivos fueron más altos entre marzo y junio, que en los meses previos y posteriores. La temperatura superficial mensual permitió caracterizar las condiciones del intervalo 1989- 1993, utilizando como indicadores la tasa de incremento estacional, los gradientes longitudinales y los promedios mensuales.

Las temperaturas más elevadas de los meses comprendidos entre enero y marzo se registraron en 1989 y 1993, sin embargo, en esos años la tasa de incremento estacional fue pequeña, por lo que los registros de mayo y junio fueron menores que los de otros años. En contraste, en 1991 esa tasa fue elevada, por lo cual, aunque la temperatura invernal fue baja, los valores del lapso mayo- julio fueron los más altos del periodo analizado.

Las diferencias entre los años fueron más acusadas en los paralelos ubicados al Sur del 24 °N, que en el área localizada entre el 25 y 27° N, en donde, los cambios interanuales fueron menores a pesar de que las variaciones entre meses consecutivos y la tasa de incremento entre invierno y primavera fueron mayores.

En el paralelo 24° N, cerca de la zona de anidación, la tasa de incremento mensual permaneció constante, a pesar de que se registraron cambios en la temperatura. Por otra parte, las diferencias entre meses consecutivos fueron menos conspicuas en los paralelos 24 y 23° N, que en el resto del área analizada.

Las variaciones de los gradientes sobre cada uno de los transectos (gradientes longitudinales) hacia el Norte del paralelo 24 y particularmente del 25° N, estuvieron asociadas con la presencia y variaciones de la pluma, por lo que fueron más grandes durante el invierno y menores en el verano. Esto permite suponer que posiblemente fueron influidas por la presencia de anticiclones en el

borde de la plataforma. Hacia el Sur del paralelo 23° N los gradientes fueron más pequeños y las condiciones más constantes. No obstante, los valores estimados deben considerarse como indicadores gruesos, por la suavización a la que fueron sometidas las imágenes al reducir el tamaño del píxel de 4 a 9 km, por lo que será necesario utilizar imágenes de mayor resolución para obtener indicadores más finos. Estas características muestran que el área de anidación de *L. kempfi* presenta condiciones menos variables.

En contraste con las imágenes mensuales, las semanales obtenidas entre abril y julio del periodo 1996-1998, no permitieron distinguir diferencias en la velocidad con la que se eleva la temperatura, aunque en los tres años, los cambios más bruscos se presentaron entre la primera y octava semanas, después de las cuales las variaciones fueron más pequeñas.

El efecto de la nubosidad sobre la temperatura superficial marina fue poco evidente, posiblemente por la escala temporal de las imágenes y por el efecto amortiguador del agua ante cambios bruscos. Es probable que la temperatura sea afectada por los fenómenos asociados con la nubosidad, tales como la precipitación y el escurrimiento de la zona litoral.

Por otro lado, White y Downton (1991) mencionan que durante la ocurrencia de El Niño disminuye la temperatura superficial marina en el Norte del Golfo de México al intensificarse la fuerza de los Nortes e incrementarse la frecuencia con la que se presentan las tormentas invernales y la precipitación en el SE de Estados Unidos, por lo que entre 1955 y 1986 dos de las inundaciones más severas del Mississippi ocurrieron en 1957-1958 y en 1973, cuando se presentaron Niños fuertes. Por el contrario, durante los inviernos correspondientes a la Niña, la TSM ha sido más alta y las diferencias más conspicuas se han registrado en el occidente. Los autores señalan que en todo el Norte del Golfo los inviernos "Niña" se caracterizan por la disminución de la fuerza del viento, en contraste con los inviernos "Niño" cuando se intensifica en el norte y noreste. Esto permite suponer que durante el "Niño" se incrementa la fuerza y la extensión de la circulación ciclónica de la plataforma Texas-Luisiana y la advección sobre la plataforma desde Texas hacia la costa de Tamaulipas, por lo que disminuye la temperatura en esa área, no obstante en este trabajo la longitud de la serie de tiempo fue insuficiente para comprobar esta hipótesis.

El filtro Sobel proporcionó un indicador de la variabilidad de la temperatura superficial. Los valores obtenidos mostraron que en 1998 las condiciones fueron más homogéneas que en 1996, cuando el frente fue más evidente. Por otra parte, el valor absoluto de las pendientes de la distribución de frecuencias de esta variable también varió entre las semanas dependiendo de la presencia del frente y de la heterogeneidad de las condiciones superficiales. No obstante, no permitió describir la distribución espacial de esos cambios, los cuales fueron mayores cerca de la costa.

## CONCLUSIONES

1. Existen variaciones en la circulación sobre la plataforma de Tamaulipas, las cuales fueron evidentes a través de la formación de un frente en forma de pluma en el intervalo invierno-primavera y en el verano. En el primer caso se encontró sobre el talud continental, mientras que posteriormente se encontró más cerca de la costa.
2. El frente aparentemente es indicador de los cambios en el régimen de corrientes costeras. En el invierno y el principio de la primavera, la dirección de la corriente costera es hacia el

Sur, propulsada por los vientos del Norte. En contraste, en el borde de la plataforma la corriente se dirige al Norte, impulsada por la presencia semipermanente de anticiclones en esa área. Durante el final de la primavera y el verano, la circulación cerca de la costa se invierte como resultado de la influencia de la circulación anticiclónica y del cambio en el régimen de vientos, que durante ese período es dominado por los vientos alisios, cuya dirección es E y SE.

3. Las variaciones anuales de la temperatura sobre todo el Golfo de México no fueron significativas, en contraste con los cambios detectados sobre el área de la plataforma ubicada entre los paralelos 21 y 27° N, en donde los años más cálidos fueron 1990-1992 y los más fríos 1989 y 1993.
4. La temperatura del área comprendida entre los paralelos 24 y 27° N no varió significativamente entre los años, aunque la tasa de incremento entre el invierno y verano fue mayor y los gradientes sobre los paralelos también fueron más grandes. Al Sur del paralelo 24° N la tasa de incremento fue menor y los gradientes longitudinales fueron pequeños, aunque los cambios entre años fueron significativos.
5. Entre los paralelos 23 y 24° N las condiciones fueron más constantes que en el resto del área analizada.
6. La temperatura semanal en la zona de anidación fue menor en 1996 y mayor en 1998, aunque la tasa a la cual se incrementó fue similar entre los dos años. La homogeneidad de la temperatura superficial fue más grande en 1998, por lo que el número de intervalos de frecuencias de los datos obtenidos con el filtro Sobel fue menor y el valor absoluto de las pendientes más grande.

#### LITERATURA CITADA

- Abdullah, Al-Abdulkader, K. 1996. Spatial and temporal variability of phytoplankton standing crop and primary production along the Texas-Louisiana continental shelf. Tesis de Doctorado. Texas A&M University. 176pp.
- Barron Jr., C. N. y A. C. Vastano. 1994. Satellite observations of surface circulation in the northwestern Gulf of Mexico during March and April 1989. Cont. Shelf Res. 14(6):607-628
- Behringer, D. W., R. L. Molinari y J. F. Festa. 1977. The variability of anticyclonic current patterns in the Gulf of Mexico. J. Geophys. Res. 82(34): 5469-5476
- Biggs, D. C. 1992. Nutrients, plankton and productivity in a warm-core ring in the western Gulf of México. J. Geophys. Res. 97(C2): 2143-2154
- Biggs, D. C., G. S. Fargion, P. Hamilton y R. R. Leben. 1996. Cleavage of a Gulf of Mexico Loop current eddy by a deep water cyclone. J. Geophys. Res. 101(C9): 20629-20641
- Brooks, D. A. 1984. Current and hydrographic variability in the Northwestern Gulf of México. J. Geophys. Res. 89(C5): 8022-8032.
- Brooks, D. A. y R. V. Legeckis. 1982. A ship and satellite view of hydrographic features in the western Gulf of Mexico. J. Geophys. Res. 87(C6): 4195-4206.

- Casas-Andreu, G. 1978. Análisis de la anidación de las tortugas marinas del género *Lepidochelys* en México. An. Centro Ciencias Mar y Limnol. 5(1):141-157
- Chuvieco, E. 1990. Fundamentos de teledetección espacial. Rialp. Madrid. 453 pp.
- Cochrane, J. D. 1972. Separation of an anticyclone and subsequent developments in the Loop Current (1969) In: L. R. A. Capurro y J. L. Reid (Eds.). Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico. Gulf Publishing, Houston. pp: 91-106
- Cochrane, J. D. y F. J. Kelly. 1986. Low -Frequency on the Texas-Louisiana Continental Shelf. J. Geophys. Res. 91(C9): 10645-10659
- Collard, S. B. 1987. Review of oceanographic features relating to neonate sea turtle distribution and dispersal in the pelagic environment: Kemp's ridley (*Lepidochelys kempi*) in the Gulf of Mexico. Final Report. Contract no. 40-6FNF-S00193. NOAA. Florida, 35 pp.
- Collard, S. B. y L. H. Ogren 1990. Dispersal scenarios for pelagic post-hatchlings sea turtles. Bull. Mar. Sci. 47(1): 233-243
- Comisión Federal de Electricidad. 1993. Informe global de estudios oceanográficos para el P.N. El Tordo. Estado de Tamaulipas. Documento Interno. Gerencia de Ingeniería Civil. Subgerencia de Estudios Civiles. Departamento de Oceanografía. Residencia zona Golfo. 27 pp
- Coyne, M. S., M. E. Monaco y A. M. Landry. 1998. Kemp's ridley Habitat Suitability Index model. Memoria de Resúmenes. 18th Simposio Internacional sobre Tortugas Marinas. Mazatlán, Sin. 3-17 marzo 1998. p 32
- Eastman, J. R. 1997 Idrisi for Windows. User's Guide. Version 2.0 Clark University. 250 pp.
- Elliot, B. A. 1982. Anticyclonic rings in the Gulf of México. J. Phys. Oceanogr. 12: 1292-1309
- Fernández-Eguiarte, A., J. Zavala H. y R. Romero. 1998. Circulación de invierno en la plataforma de Tamaulipas y áreas adyacentes. Memorias de la Reunión SELPER. Zacatecas. Septiembre 1998.
- Glenn, S. M. y C. C. Ebbesmeyer. 1993. Drifting buoy observations of Loop current an anticyclonic eddy. J. Geophys. Res. 98(C11): 20105-20119
- Gutiérrez de Velasco, G. 1996. Wind forcing and circulation in the Gulf of Mexico. Tesis de Doctorado. Scripps Institution of Oceanography. University of California, San Diego, Cal. USA, 124 pp.
- Gutiérrez de Velasco, G. y C. Winant. 1996. Seasonal patterns of wind stress and wind stress curl over the Gulf of Mexico. J. Geophys. Res. 101(C8): 18127-18140
- Hamilton, P. 1992. Lower continental slope cyclonic eddies in the central Gulf of México. J. Geophys. Res. 97(C2): 2185-2200 15
- Howard, M. K., J. D. Cochrane y N. D. Walker. 1996. Coastal upwelling off south Texas. Quarterdeck 4(2) 4 pp
- Lewis, J. K., A. D. Kirwan Jr. y G. Z. Forristall. 1989. Evolution of a warm-core ring in the Gulf of Mexico. Langrangian observations. J. Geophys. Res. 94(C6): 8163-8178

- Li, Y., D. Nowlin Jr. y R. O. Reid. 1997. Mean hydrographic fields and their interannual variability over the Texas-Louisiana continental shelf in spring, summer and fall. J. Geophys. Res. 102(C1): 1027-1049
- Lohman, K. J. y C. M. F. Lohman. 1996. Orientation and open sea navigation in sea turtles. J. Exp. Biol. 199: 73-81
- Mann, K. H. y J. R. N. Lazier. 1996. Dynamics of marine ecosystems. Biological-physical interactions in the oceans. 2ª. ed. Blackwell Scientific. London. 394 pp.
- Márquez, R., 1994. Sinopsis de datos biológicos sobre la tortuga lora, *Lepidochelys kempi* (Garman, 1880). FAO Sinopsis sobre la Pesca no. 152. Secretaría de Pesca. Instituto Nacional de la Pesca. 141 pp
- Maul, A. G. 1977. The annual cycle of the Gulf Loop Current. Part I: Observations during a one-year time series. Journal of Marine Research 35(1): 29-47
- Merrell, W. J. y J. M. Morrison. 1981. On the circulation of the western Gulf of Mexico with observations from April 1978. J. Geophys. Res. 86(C5): 4181-4185. 20
- Merrell, W. J. y A. M. Vázquez. 1983. Observations of changing mesoscale circulation patterns in the western gulf of Mexico. J. Geophys. Res. 88(C12): 7721-7723
- Monaldo, F. 1996. Primer on the estimation of Sea Surface Temperature using TeraScan Processing of NOAA AVHRR Satellite Data. Version 2.0 SIR-96M-03. 35 pp
- Montgomery, D.C. 1984. Design and analysis of experiments. 2a. ed., Wiley, Nueva York. 391 pp.
- Morreale, S. J. y E. A. Standora. 1999. Ecology of *Lepidochelys kempi* in Western Atlantic developmental habitats and migratory corridors. 19<sup>th</sup> Annual Symposium on Sea Turtle Conservation and Biology. South Padre Island. Marzo 1999
- Müller-Karger, F. E. y J. J. Walsh. 1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface temperature cycles of the Gulf of Mexico as determined by satellites. J. Geophys. Res. 96(C7): 12645-12665
- Oey, Lie-Yauw. 1995. Eddy and wind -forced shelf circulation. J. Geophys. Res. 100 (C5): 8621-8637.
- Pica, G. Y y R. Pineda. 1991. Oceanografía Física del Golfo de México y Mar Caribe Mexicano. In: G. de la Lanza E. (Ed) Oceanografía de mares mexicanos. AGT Editor, México. 569 pp.
- Pilcher, N. y S. Enderby. 1998. Hatchling swimming performance as a function of prolonged captivity. Memoria de Resúmenes 18<sup>th</sup> Simposio Internacional sobre Tortugas Marinas. Mazatlán, Sin. 3-17 marzo 1998 p 12
- Renaud, M. L., J. A. Carpenter, J.A. Williams y A. M. Landry Jr., 1996. Kemp's ridley sea turtle (*Lepidochelys kempi*) tracked by satellite telemetry from Louisiana to nesting beach at Rancho Nuevo, Tamaulipas, Mexico. Chelonian Conservation and Biology 2:108-109.
- Richards, J. A. 1986. Remote sensing digital image analysis. An introduction. Springer Verlag. Berlin 281 pp.

- Simpson J. J. 1990. On the accurate detection and enhancement of oceanic features observed in satellite data. Remote Sens. Environ. 33(1): 17-33
- Smith, D. C. IV. 1986. A numerical study of Loop current eddy interactions with topography in the Western Gulf of Mexico. J. Phys. Ocean. 16: 1260-1272
- StatSoft, Inc. (1995). STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK, 74104-4442, (918) 749-1119, fax: (918) 749-2217, e-mail: info@statsoft.com, WEB: http://www.statsoft.com.
- Steiner, T. y R. Schmitt. 1994. Shrimpers implicated as strandings soar in the USA. Marine Turtle Newsletter. 67: 2-5
- Sturges, W. 1993. The annual cycle of the Western Boundary Current in the Gulf of Mexico. J. Geophys. Res. 98(C10): 18053-18068
- Sturges W. y J. P. Blaha 1976. A western boundary current in the Gulf of Mexico. Science 192: 367-369
- Sverdrup, H. U., M. W. Johnson y R. H. Fleming. 1942. The Oceans. Their physics, chemistry and general biology. Prentice Hall. Englewood Cliffs, N.J. 1087 pp.
- Teas, W. G. 1994. Annual report of the sea turtle and salvage network. Atlantic and Gulf of the United States January-December 1993. NOAA-NMFS-SEFSC, Miami Lab. Cont. No. MIA-93/94-12. 46p
- Vázquez de la Cerda, A. M. 1975. Current and waters of the upper 1200 meters in the Southwestern Gulf of Mexico. Tesis de Maestría. Texas A & M University. 108 pp.
- Vázquez J., A. Tran, R. Sumagaysay, E.A. Smith, y M. Hamilton. 1995. NOAA/NASA AVHRR Oceans Pathfinder Sea Surface Temperature Data Set User's Guide Version 1.2, JPL Technical Report 55.
- Vastano, A. C. y C. N. Barron Jr. 1994. Comparison of satellite and drifter flow estimates in the northwestern Gulf of Mexico. Cont. Shelf Res. 14(6) 589-605
- Vastano, A. C., C. N. Barron Jr y E. W. Shaar Jr 1995. Satellite observations of the Texas current. Cont. Shelf Res. 15(6): 729-754
- Vidal, V. M., F. V. Vidal y A. F. Hernández. 1990. Atlas oceanográfico del Golfo de México. Vol. II, Instituto de Investigaciones Eléctricas. CFE. México. 707 pp.
- Vidal, V. M., F. V. Vidal y J. M. Pérez-Molero. 1988. Atlas oceanográfico del Golfo de México. Vol. I Instituto de Investigaciones Eléctricas. CFE. México. 415 pp
- Vidal, V. M., F. V. Vidal y J. M. Pérez-Molero. 1992. Collision of a Loop Current anticyclonic ring against the continental shelf slope of the western Gulf of Mexico. J. Geophys. Res. 97(C2) 2155-2172
- Vukovich, F. 1988. Loop current boundary variations. J. Geophys. Res. 93(C12):15585-15591
- Vukovich, F. M., B. W. Crissman, M. Bushnell y W. J. King. 1979. Some aspects of the oceanography of the Gulf of Mexico using satellite and in situ data. J. Geophys. Res. 84(C12): 7749-7768 33

Wang, W., W. D. Nowlin, Jr. y R. O. Reid. 1998. Analyzed surface meteorological fields over the northwestern Gulf of Mexico for 1992-1994; monthly and seasonal patterns. Month. Weather Review. 126(11): 2864-2883.

White, M. y M. W. Downton. 1991. The shrimp fishery in the Gulf of Mexico: relation to climatic variability and global atmospheric patterns. In: M.H. Glantz, R. W. Glantz y N. Nicholls (Eds.). Teleconnections linking worldwide climate anomalies. Scientific basis and societal impact. Cambridge University Press. U.K. pp:459-491

Yongxiang, L., W. D. Nowlin Jr. y R. O. Reid. 1996. Spatial -scale analysis of hydrographic data over the Texas-Louisiana continental shelf. J. Geophys. Res. 101(C9): 20595-20605

Zamudio, R. M. E. 1998. Hidrología y fitoplancton en una región costera del Oeste del Golfo de México. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM México. 66 pp.

Zar, J. H., 1974. Biostatistical Analysis. Prentice Hall. 620 pp.

## ANEXOS



## Anexo 1

Texto adaptado de Monaldo (1996).

Algoritmos utilizados por el Sistema TeraScan para la estimación de la temperatura superficial marina a partir de las bandas del sensor Advanced Very High Radiance Radiometer (AVHRR) instalado en el satélite NOAA- 14.

La función base es la siguiente:

$$T_e = a_0 T_i + a_1 (T_i - T_j) + a_2$$

Donde  $T_i$  y  $T_j$  son las temperaturas de brillo estimadas a partir de los valores de la radianza determinados en las bandas del infrarrojo  $i$  y  $j$ .  $a_0$ : es una constante cercana a 1, lo cual sugiere que la temperatura medida en cualquiera de estos canales es similar a la de la superficie marina. La diferencia de temperatura ( $T_i - T_j$ ) hace una pequeña corrección determinada por la transmitancia atmosférica. El término  $a_2$  es un factor de corrección asociado con las diferentes temperaturas atmosféricas de brillo estimadas en diferentes canales.

Basados en comparaciones empíricas de los datos de AVHRR y de medidas en boyas, se encontraron dos conjuntos de algoritmos para combinar las medidas de radianza en tres canales del infrarrojo, un conjunto para las medidas nocturnas y otro para las diurnas. Los algoritmos utilizados para la noche pueden emplear el canal  $T_{3.7}$ . Los algoritmos para el día incluyen los canales  $T_{11}$  y  $T_{12}$ .

En general hay tres clases de algoritmos de temperatura superficial, sin embargo en este trabajo se utilizó el "multicanal" que emplea la temperatura de brillo  $T_{11}$  como el estimador de orden mas bajo de la temperatura superficial marina, mientras que la diferencia  $T_{11} - T_{12}$  se empleó para la corrección atmosférica.

Para corregir las medidas realizadas fuera de nadir se aplica una corrección adicional. Considerando a  $\theta$  como el ángulo de cenit del sensor, entonces el algoritmo se transforma:

$$\text{Multicanal (mc)} \quad T_e = A_0 T_{11} + A_1 (T_{11} - T_{12}) + A_2 (T_{11} - T_{12})(\sec \theta - 1) + A_3 \sec \theta + A_4$$

Donde:  $T_{11}$  = Banda 4: 10.33-11.3  $\mu$

$T_{12}$  = Banda 5: 11.5-12.5  $\mu$

### Constantes

Horario	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$ (°C)
Diurno	1.017342	2.139588	0.779706	0.000	-0.543
Nocturno	1.029088	2.275385	0.752567	0.000	-1.145

Texto extraído de Vazquez *et al.*, 1995.

Algoritmos empleados por el personal de la NOAA para el cálculo de la temperatura superficial marina sobre la base de las radianzas del satélite NOAA-11.

Las mediciones realizadas con el sensor AVHRR Nivel- 1B en los canales visibles 1 y 2, primero son convertidas a radianzas y corregidas por la absorción Rayleigh, posteriormente se remueven los efectos de la atmósfera, el ángulo de visión y la geometría de iluminación. Los canales 3 a 5 son transformados a unidades de "temperatura de brillo" utilizando la función de cuerpo negro de Planck y un factor de corrección para calibrar la no linealidad del sensor en los canales correspondientes a las longitudes de onda mas largas. El algoritmo utilizado es no linear, esta modificado para calibrar el sensor a lo largo del tiempo y soportar tres regimenes de vapor de agua atmosférico, para lo que se aplican coeficientes de regresion por separado.

$$SST = a + b \cdot T_4 + c \cdot (T_4 - T_5) \cdot T_{surf} + d \cdot (\sec \theta - 1) \cdot (T_4 - T_5) + e \cdot \text{tiempo} \quad (1)$$

Donde  $\theta$  es el ángulo cenital del instrumento

T4 y T5 son las temperaturas de brillo de los canales 4 y 5 del AVHRR, determinadas a partir del procedimiento establecido en el NOAA Technical Report NESDIS 69

Tsurf es una estimación *a priori* de la temperatura superficial marina. Este valor es calculado después de una interpolación espacial en una malla de 9 km a partir del análisis de interpolación de SST en una malla de 1 grado producido por el Dr. Richard Reynolds del NOAA/NESDIS.

La interpolación espacial utilizada es una interpolación bilineal de los 4 puntos vecinos más cercanos al punto central de una malla de 9km. Los coeficiente empíricos a, b, c, d y e fueron determinados con una regresión múltiple de las radianzas del AVHRR con la base de datos de las temperaturas *in situ* medidas en boyas ancladas y flotantes. Estos coeficientes son calculados sobre una escala de tiempo anual. Para emparejar los datos la ubicación del pixel y las medidas *in situ* no deben diferir espacial y temporalmente más de 0.1 ° y 30 minutos, respectivamente.

Coefficientes empíricos calculados para el NOAA-11

a	B	C	d	e	T4-T5
1.011	0.934	0.120	1.118	0.026	< 0.7
1.336	0.945	0.087	0.984	0.003	>=0.7 & <1.8
3.250	0.869	0.078	0.805	0.009	>=1.8

## Anexo 2.

Filtros de convolución aplicados a las imágenes. Texto extraído de Eastman, 1997.

Filtro de mediana. No se aplican matrices con valores constantes. En el caso del filtro de 3x3 el valor central es sustituido por la mediana de los 9 píxeles.

Filtro Laplaciano. La imagen de salida es el resultado de aplicar la siguiente matriz o kernel.

0	-1	-1	-1	0
-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	25	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1
0	-1	-1	-1	0

Filtro Sobel. El valor de salida esta determinado por la función:

$$\text{Valor resultante} = \sqrt{(x^2 + y^2)}$$

Donde:  $x$  = es la imagen resultante de aplicar el kernel  $K_x$  a la imagen de entrada.

$y$  = es la imagen resultante de aplicar el kernel  $K_y$  a la imagen de entrada

Donde

$K_x$

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	-1

$K_y$

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

El valor resultante posteriormente es corregido dividiéndolo por un valor de normalización y un factor espacial.



**APÉNDICE B**  
**CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS Y CLIMÁTICAS DE LA**  
**ZONA DE ANIDACIÓN.**

**CONTENIDO**

<b>RESUMEN .....</b>	<b>271</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>273</b>
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>274</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>276</b>
<b>MÉTODOS.....</b>	<b>276</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>282</b>
<i>Comparación de los registros entre las estaciones meteorológicas.....</i>	<i>282</i>
<i>Descripción de las variaciones y de los ciclos en las series de tiempo de Soto la Marina y Punta Jerez.....</i>	<i>285</i>
Ciclos de largo y mediano plazo .....	285
Ciclos anuales y semestrales .....	289
Ciclos diarios .....	289
<i>Variaciones climáticas en Soto la Marina durante las temporadas de anidación del lapso 1978-1998. Comparación entre Soto la Marina y Barra del Tordo entre 1986 y 1996.....</i>	<i>291</i>
Temperatura .....	291
Precipitación pluvial .....	295
Nubosidad .....	296
Humedad relativa .....	297
Viento .....	298
Variables que influyen en el clima de la zona de anidación durante el trimestre abril-junio.....	298
Efecto de los fenómenos atmosféricos en la zona de anidación .....	307
<i>Huracanes.....</i>	<i>310</i>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>312</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>314</b>
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>315</b>



## INDICE DE TABLAS

Tabla B.1.- Estaciones meteorológicas cercanas a Rancho Nuevo. Claves: SMN: Servicio Meteorológico Nacional; CFE: Comisión Federal de Electricidad. ....	277
Tabla B.2.- Características de las series de tiempo utilizadas. ....	277
Tabla B.3.- Intervalos y variables utilizadas en el análisis de factores por componentes principales. ....	279
Tabla B.4.- Años tipificados como "Niño", "No -Niño" y "Niña", de acuerdo con el valor del Índice Multivariado del Niño (Wolter, 1987; Wolter y Timlin, 1998). ....	281
Tabla B.5.- Normales de temperatura y precipitación. La información de Barra del Tordo y de Aldama sólo se utilizó como referencia. N: Meses promediados. ....	283
Tabla B.6.- Cociente de varianzas (F) obtenido de la aplicación del ANDEVA entre los registros de temperatura de Soto la Marina con las estaciones que encabezan las columnas 2 a 4. ....	283
Tabla B.7.- Resultados de los análisis de Kruskal - Wallis (H) aplicados para comparar la precipitación total mensual de Soto la Marina con las estaciones que encabezan las columnas 3 a 5 y la de Punta Jerez y Aldama. Se presenta la mediana porque el método se basa en esta medida. ....	284
Tabla B.8.- Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura) y Spearman (precipitación) obtenidos entre las Estaciones anotadas en la primera columna y las de los encabezados. Todos los coeficientes fueron significativos al 95% de confianza. N: número de datos mensuales. ....	284
Tabla B.9.- Temperatura media (+desviación estándar) diaria de Soto la Marina y Rancho Nuevo. Se incluyen las diferencias térmicas ( $\Delta$ SM-RN) promedio diarias entre ambas estaciones. ....	284
Tabla B.10.- Parámetros de las regresiones elaboradas con las anomalías estandarizadas de temperatura con excepción de Barra del Tordo, las cuales fueron elaboradas con los registros originales. Las regresiones significativas al 95% de confianza se muestran en negritas. ....	286
Tabla B.11.- Parámetros de las regresiones elaboradas con las anomalías estandarizadas de la precipitación, con la excepción de Barra del Tordo, en donde se utilizaron los datos originales. Las ecuaciones significativas al 95% de confianza se muestran en negritas. ....	287
Tabla B.12.- Período y amplitud media cuadrática de los picos mostrados en la figura B.4. Los períodos están registrados en años. Los valores de la amplitud media cuadrática se muestran entre paréntesis y sus unidades son las de las variables originales. ....	288
Tabla B.13.- Duración en días de los periodos de los picos dominantes de los espectros de las series tipo II. La amplitud media cuadrática se anota entre parentesis y sus unidades corresponden a las de los registros originales. ....	289
Tabla B.14.- Promedios mensuales (A) y tendencias (B) de la temperatura de Soto la Marina. ....	291
Tabla B.15.- Tendencias de la temperatura máxima y mínima de Soto la Marina entre 1974 y 1998. Los resultados significativos se muestran en negritas. ....	293
Tabla B.16.- Tendencias de la temperatura máxima y mínima de Barra del Tordo entre 1986 y 1996. Los resultados significativos se muestran en negritas. ....	293
Tabla B.17.- Promedio mensual de la precipitación total mensual en Soto la Marina. ....	295
Tabla B.18.- Tendencia de la humedad relativa. Todos los intervalos fueron significativos al 99% de confianza. $r^2$ aj: coeficiente de determinación ajustado. ....	298
Tabla B.19.- Resultados de la aplicación del ACP a la matriz con el total de datos de Soto la Marina del período 1975-1998. A) Valores de los eigenvalores obtenidos en las matrices no rotadas y rotadas con el método Varimax normalizado según Kaiser. B) Coeficientes de correlación de las variables con los Factores en las matrices no rotadas. C) Coeficientes de correlación de las variables con los Factores en las matrices rotadas. ....	305
Tabla B.20.- Resultados de la aplicación de ACP a la matriz con el total de datos del período 1987-1996 de Barra del Tordo. A) Valores de los eigenvalores obtenidos en las matrices no rotadas y rotadas con el	

método Varimax normalizado según Kaiser. B) Coeficientes de correlación de las variables con los Factores en las matrices no rotadas. C) Coeficientes de correlación de las variables con los Factores en las matrices rotadas. ....	306
Tabla B.21.- Valores promedio de las anomalías estacionales y resultados del ANDEVA (F) y del método de Kruskal - Wallis (H) en los años ENSO(N= 7), Niña (N= 5) y No Niño (N= 31). ....	308

## INDICE DE FIGURAS

Fig. B.1.- Promedios mensuales de las 4 estaciones meteorológicas cercanas a la zona de Rancho Nuevo . Temperatura +Desv estándar. El valor de N indica el número de años promediado y es igual para ambas variables, con la excepción de Aldama. ....	282
Fig. B.2.- Diferencias térmicas (° C) entre Soto la Marina y Rancho Nuevo (SM-RN). ....	285
Fig. B.3.- Series de tiempo de temperatura (A) y precipitación pluvial (B). ....	286
Fig. B.4.- Espectros de precipitación y temperatura de Soto la Marina (A) y Punta Jerez (B). La línea punteada del análisis de coherencia muestra el nivel de confianza del 99%. ....	288
Fig. B.5.- Espectros de frecuencias de la temperatura promedio (1), dirección (2) y la velocidad (3) del viento y la precipitación (4). ....	290
Fig. B.6 - Anomalías estandarizadas mensuales del periodo abril - junio registradas en Soto la Marina. ....	291
Fig. B.7 - Variaciones de la temperatura máxima (A) y mínima (B) medida en Soto la Marina. ....	292
Fig. B.8 - Variabilidad de la temperatura máxima(A) y mínima (B) en Barra del Tordo. ....	294
Fig. B.9 - Precipitación total mensual, anomalías y días con lluvia registrados en Soto la Marina. ....	295
Fig. B.10 - Precipitación total mensual y días con lluvia registrados en Barra del Tordo. ....	296
Fig. B.11.- Nubosidad (número de nubes) en Soto la Marina. ....	297
Fig. B.12.- Variaciones de la humedad relativa (%) en Soto la Marina. ....	297
Fig. B.13.- Dirección y velocidad del viento dominante en Soto la Marina y Barra del Tordo (m/seg) presentada en las rosas de viento. En los histogramas se presenta la distribución de frecuencias C. Calma. ....	299
Fig. B.14.- Coeficientes de correlación de las variables con el Factor I de los años tipo II. Las gráficas A y B muestran las matrices que no fueron rotadas y la C y D las que fueron rotadas con el método VARIMAX Normalizado. ....	301
Fig. B.15 - Dispersogramas del Factor I vs Factor II de los ACP aplicados a las matrices tipo II. Estos resultados son de las matrices no rotadas. Las variables fueron agrupadas de manera heurística. Claves: 1. Temperatura máxima; 2. Temperatura mínima; 3. Tensión de vapor; 4. Humedad relativa; 5. Nubosidad; 6. Velocidad del viento; 7. Precipitación pluvial. ....	302
Fig. B.16 - Dispersogramas del Factor I vs Factor II de los ACP aplicados a las matrices tipo II. Estos resultados son de las matrices rotadas. Las variables fueron agrupadas de manera heurística. Solo se anotaron las claves de las variables relevantes. Claves: 1.Temperatura máxima; 2. Temperatura mínima; 3. Tension de vapor; 4. Humedad relativa; 5. Nubosidad; 6. Velocidad del viento; 7. Precipitación pluvial. ....	303
Fig. B.17 - Gráficas de las anomalías estacionales estandarizadas de la temperatura y precipitación en el periodo 1951-1996. Las flechas indican la ocurrencia del fenómeno de El Niño. ....	307
Fig. B.18 - Coeficientes de correlación cruzada entre las anomalías térmicas y: A) el Índice de la Oscilación del Sur (SOD), B), el patrón Pacífico Norteamérica (PNA), C) la Oscilación del Norte del Atlántico (NAO). Las variables desplazadas fueron los Índices. Los valores menores a -0.085 fueron significativos. Las series de tiempo son mensuales y cubren el lapso de 1951 a 1998. ....	309

Fig. B.19.- Coeficientes de correlación cruzada entre la precipitación y: A) SOI; B), PNA; C) NAO. Los valores menores a $-0.085$ fueron significativos. Las series de tiempo fueron mensuales y cubren el lapso de 1951 a 1998.....	310
Fig. B.20.- Tendencia seguida por la cantidad de tormentas tropicales y huracanes detectados en el Atlántico y Golfo de México. La línea gruesa fue trazada con el método de las medias móviles de 10 años. La tendencia fue estimada con la ecuación de regresión lineal: $y=0.033x-57.066$ , $p<0.05$ , $N=127$ . .....	310
Fig. B.21.-Huracanes que tocaron tierra o pasaron cerca del noroccidente del Golfo de México .....	311
Fig. B.22.- Huracanes registrados en el Golfo de México entre 1871 y 1975. En las barras se presenta el número total de estos eventos y en las líneas el número promedio + la desviación estándar. ....	311



## RESUMEN

*Se analizaron los registros meteorológicos de 4 estaciones ubicadas en las inmediaciones de la playa de anidación de la tortuga lora: Soto la Marina, Aldama, Barra del Tordo y Punta Jerez con el objetivo de describir la variabilidad climática y las variaciones meteorológicas de la zona. La serie de tiempo más larga y completa fue la de Soto la Marina y puesto que no hubo diferencias en las tendencias de la temperatura y precipitación con respecto a las otras 3 estaciones, fue empleada para caracterizar a la región. Las variaciones en el tiempo se analizaron con el análisis espectral de las series de Soto la Marina y Punta Jerez, localidades ubicadas en los límites Norte y Sur de la playa de anidación. Se utilizaron 2 escalas: mensuales y diarias. Las tendencias se describieron con análisis de regresión lineal simple.*

*La temperatura se ha incrementado desde 1927, en contraste con la precipitación, que ha decrecido. Ambas variables oscilaron con frecuencias semestrales y anuales, relacionadas con el ENSO y los ciclos solares. Los ciclos diarios se calcularon para las temporadas de anidación del intervalo 1979-1996 y se encontraron entre 3 y 28 días. Es probable que sean producto del paso de eventos de carácter sinóptico.*

*En el trimestre abril-junio del lapso 1978-1998, la temperatura se incrementó significativamente, particularmente en mayo y junio. Por el contrario, decreció la nubosidad, la precipitación y la humedad relativa. En ese lapso usualmente se presentó el cambio de régimen de viento de invierno a verano; en el primero dominaron los Nortes, mientras que en el segundo, los alisios. Las velocidades más grandes se alcanzaron en abril y estuvieron asociadas con los Nortes y con el viento del Sudeste.*

*La temperatura es un indicador adecuado de las variaciones meteorológicas, puesto que las variables relacionadas con el ingreso de energía solar al sistema fueron las que tuvieron el mayor peso en el trimestre abril-junio de acuerdo con los Análisis de Componentes Principales.*

*También se analizó el efecto de eventos meteorológicos de gran extensión geográfica, tales como El Niño-La Oscilación del Sur, el Patrón Pacífico Norteamérica y la Oscilación del Atlántico Norte. El efecto de los dos primeros fue mayor que el de la NAO, sin embargo, la proporción de la varianza explicada fue menor al 10%. El retraso en el efecto del ENSO fue de aproximadamente 5 meses, mientras que el del PNA fue de 0. La influencia de la NAO no fue muy evidente.*

*La cantidad de huracanes que han pasado por el Golfo de México se ha incrementado paulatinamente. En los últimos 30 años han tocado tierra 2 huracanes y 1 tormenta tropical en las inmediaciones de la playa de anidación. El "Gilberto" modificó la topografía y los sedimentos.*

*Se discutieron algunos aspectos del ciclo de vida de la tortuga marina lora que podrían ser influidos por las variables ambientales y sus fluctuaciones espaciales y temporales.*



## INTRODUCCIÓN

Las variaciones del ambiente influyen en el ciclo vital y en el comportamiento de los organismos (Eibl-Eibesfeldt, 1974); en el caso de las tortugas marinas, aunque la mayor parte de su vida se desarrolla en el océano, el proceso de desove y la incubación de los huevos se llevan a cabo en los litorales de los mares tropicales, por lo que están sujetas a las oscilaciones de los ambientes terrestres y marinos.

Entre los efectos más notables e inmediatos del ambiente sobre los organismos adultos se encuentran las modificaciones de algunos aspectos del proceso reproductivo. Así por ejemplo, las hembras de algunas especies emergen a la playa en grandes cantidades para depositar sus huevos, fenómeno que ha sido denominado como "arribazón" y cuyos factores reguladores varían (Diamond, 1976; Garnett, 1979; Frazier, 1979; Dodd, 1988); las grandes agrupaciones que forma la tortuga lora (*Lepidochelys kempi*) aparentemente son una respuesta a las modificaciones de la temperatura superficial del mar y del viento (Casas-Andreu, 1978), sin embargo, esto no ha sido estudiado de manera exhaustiva.

Por otra parte, los eventos que abarcan grandes extensiones geográficas afectan a las poblaciones de diversas maneras. El Niño-La Oscilación del Sur (ENSO) cambia significativamente la temperatura y precipitación en el Pacífico, Norteamérica, el Golfo de México y el Caribe (White y Downton, 1991; Arntz y Fahrbach, 1996) y aunque su efecto sobre las diversas poblaciones ha sido ampliamente documentado, en el caso de las tortugas marinas, sólo las variaciones de la abundancia de la tortuga blanca australiana en las playas de anidación, se han relacionado con el impacto del ENSO en la disponibilidad del alimento durante el periodo de preparación previo al desove (Limpus y Nicholls, 1988, 1990). Esto permite suponer que el desarrollo y las migraciones de la tortuga lora están vinculadas con este evento, puesto que el ENSO introduce variaciones significativas en la precipitación, la salinidad, la temperatura del aire y la marina en el norte del Golfo de México, lo cual modifica las características de las comunidades marinas (White y Downton, 1991).

Los huracanes y los periodos de sequia son otros fenómenos naturales que repercuten en las playas de anidación. Los grandes huracanes modifican los perfiles de playa y la composición de los sedimentos, uno de cuyos efectos es alterar la distribución de los nidos sobre la playa, como se detectó en la temporada de 1989 en la playa de Rancho Nuevo después del paso del huracán Gilberto en septiembre del año anterior (Márquez, 1994). A su vez, estos fenómenos están estrechamente relacionados con la ocurrencia de eventos globales tales como el efecto de "El Niño-La Niña" en la ciclogénesis en el Océano Atlántico.

Por el contrario, durante los periodos de sequia la falta de humedad en el sedimento impide la construcción de los nidos e incrementa la mortalidad de los embriones por deshidratación, como ocurrió en la costa del Golfo de México, durante 1997 y en particular en el campamento de Lechuguillas, Veracruz (Bravo, com. pers.).

La influencia de los fenómenos ambientales en el ciclo de vida de las tortugas marinas depende de la extensión geográfica, la periodicidad y la duración de los eventos meteorológicos, por lo que en este trabajo se describen las variaciones de corto y mediano plazo en la playa de anidación de la tortuga lora para disponer de elementos que permitan elaborar hipótesis sobre la relación del ambiente y el comportamiento de las tortugas marinas durante su estancia sobre la playa, no

obstante puesto que el periodo de vida de estos organismos es prolongado, también se describen los eventos que afectan a grandes áreas geográficas bajo la suposición de que pueden modificar la disponibilidad del hábitat e influir en el estado fisiológico de los organismos.

#### ANTECEDENTES

La principal zona de anidación de *L. kempi* abarca una extensión aproximada de 120 km (Márquez, 1994). El clima de la región varía entre subhúmedo con temperatura media anual de 18°C, en el Sur de Tamaulipas a semiárido con una temperatura media anual de 18 a 22 °C, en el Norte del Estado (García, 1978, 1998). La época de lluvias comprende de mayo a noviembre y está asociada con los vientos alisios y los huracanes. También se registran precipitaciones relacionadas con el paso de los frentes fríos entre noviembre y febrero (Mosíño, 1988). Los meses más secos son marzo y abril

En la zona hay dos tipos de régimen de viento: el de invierno, dominado por el ingreso de masas de aire de América del Norte; y el de verano, influenciado por los vientos alisios provenientes del Este y Sudeste (Gutiérrez de Velasco y Winant, 1996; Elliot, 1979). En el noroccidente del Golfo varía el período en el que ocurre el cambio de régimen de invierno a verano, así por ejemplo, en Tampico los vientos alisios se hacen más frecuentes a partir de febrero (Comisión Federal de Electricidad, 1993; Sánchez-Santillán, 1999) aunque continúan presentándose algunas incursiones de frentes fríos hasta abril o mayo; mientras que en la frontera México - EE.UU. (26° N- 97° O) el cambio de régimen puede presentarse en abril, mientras que en la costa de Texas hasta mayo o junio (Wang et al., 1998).

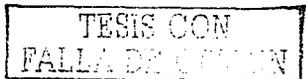
Gutiérrez de Velasco (1996) indica que la intensidad máxima del viento se alcanza en el invierno y al final del verano, en ambos casos está relacionada con fenómenos sinópticos tales como las incursiones frontales invernales y los huracanes. La velocidad máxima hacia el Norte se alcanza a mediados de junio y la máxima hacia el Sur durante diciembre

Los Nortes son masas de aire frío y seco provenientes de Norteamérica (Nowlin y Parker, 1974), los cuales alcanzan su mayor intensidad entre diciembre y febrero (Pica y Pineda, 1991) con velocidades variables entre 50 y 100 km / hr, por lo que enfrían la capa superficial de una parte del Golfo de México y tienen un efecto importante en la región costera (Ver Apéndice I). La intensidad y extensión de estos eventos varía anualmente y según Di Mezzo et al. (1976, citado por Gutiérrez de Velasco, 1996) están directamente relacionados con las características topográficas, la posición, la fuerza y la amplitud de la circulación en las latitudes medias. Crisp y Lewis (1992, tomado de Gutiérrez de Velasco, 1996) clasificaron a los Nortes en tres categorías: masas de aire polar (cP), masas de aire marítimo polar (mP) o una mezcla de ambos (MIX). Según estos autores la duración media de estos eventos se encuentra entre 3.3 y 6.2 días.

Los huracanes, originarios del Caribe y la costa noroccidental de África, se presentan entre junio y noviembre, aunque su número e intensidad varían anualmente. Los estados más afectados son Quintana Roo y Tamaulipas (Sánchez-Santillán y de la Lanza, 1995).

Algunos de estos fenómenos, tales como la frecuencia e intensidad de los Nortes y de los huracanes, son influenciados de manera significativa por los eventos meteorológicos que afectan a grandes extensiones geográficas.

En este sentido, cabe señalar que el Golfo de México se encuentra en el límite de las regiones tropical y subtropical, lo que le confiere características climáticas particulares. El Norte y Noroccidente son afectados con mayor intensidad por los fenómenos que se generan entre el Pacífico, Norteamérica y el norte del Atlántico (Horel y Wallace, 1981; Walsh y Richman, 1981;



Acosta, 1988; Ting y Wang, 1997; Montroy et al., 1998; Gershunov y Barnett, 1998) mientras que el este y el sur son modificados por las oscilaciones en el Atlántico Ecuatorial (Sánchez-Santillán, 1999).

Según White y Downton (1991) existen tres patrones recurrentes de circulación atmosférica de gran escala que influyen en el clima invernal y primaveral del sudeste de EE.UU. y en gran parte del Golfo de México: El Niño - La Oscilación de Sur (ENSO), el Patrón Pacífico Norte América (PNA) y la Oscilación del Norte del Atlántico (NAO).

El ENSO afecta la región a través de un fenómeno de teleconexión<sup>1</sup> por el cual Bradley et al. (1987) indican que existe una anomalía positiva en la precipitación en los inviernos posteriores al ENSO en el sudeste de EE.UU., mientras que Ropelewski y Halpert (1986, 1987) encontraron que durante el otoño e invierno posterior al ENSO<sup>2</sup> (+), la precipitación en el sudeste de EE.UU. y el norte de México fue 81% superior a la normal, mientras que la temperatura en esa región y en el este de EE.UU. fue inferior a la media (Rogers, 1984; Livezey et al., 1997). Ropelewski y Halpert (1986) señalan que esto último ocurre en un 80% de las ocasiones. En esos años la ocurrencia de huracanes en el Atlántico es menor al promedio (Gray, 1984).

Aunque cabría esperar que el ENSO estuviera directamente relacionado con la variabilidad climática del Golfo, hay diferencias entre cada evento ENSO (Kumar y Hoerling, 1997), dependientes de la duración y extensión del evento, de su interacción con fenómenos atmosféricos de gran escala, de la variabilidad regional y de la no-linearidad de las teleconexiones (Livezey et al., 1997)

Wallace y Gutzler (1981) indican que el patrón PNA es el resultado de las variaciones de la presión atmosférica entre algunas áreas del Norte del Pacífico y de Norteamérica. Uno de los centros de este sistema se encuentra en el Norte del Golfo (30° N - 85° O), lo que favorece el flujo de vientos provenientes de la región subpolar sobre el centro de EE.UU. y el Golfo en invierno y primavera, y disminuye la temperatura sobre esa región. En los años de ocurrencia del ENSO se ha observado una mayor incidencia del patrón PNA, lo que incrementa la frecuencia e intensidad de los Norte sobre el Golfo (White y Downton, 1991).

La influencia de la Oscilación del Atlántico Norte se extiende entre la costa Este de EE.UU. y el Norte del Golfo de México, aunque es menos importante en éste último. Durante su fase positiva (+NAO) la celda anticiclónica de las Azores está bien desarrollada y la temperatura invernal del SE de EE.UU. es más elevada que durante la fase negativa (-NAO), cuando es afectada por masas de aire provenientes del Norte de Canadá. White y Downton (1991) indican que durante los inviernos +NAO, la temperatura superficial marina promedio es más alta en todo el Norte del Golfo, pero que la diferencia es más pronunciada en el Este, mientras que el esfuerzo del viento es significativamente diferente entre los inviernos +NAO y -NAO en la región Oeste, con vientos más fuertes provenientes del Este durante los inviernos -NAO.

<sup>1</sup> Según Wallace y Gutzler (1981) las teleconexiones son correlaciones significativas entre fluctuaciones simultáneas que ocurren entre variables meteorológicas de áreas geográficas separadas. Glantz et al. (1991) las describen como "interacciones atmosféricas entre áreas ampliamente separadas".

<sup>2</sup> Se utiliza la nomenclatura de Rasmusson y Carpenter (1982), quienes definen los valores del interior del paréntesis como: (+) los años posteriores, los (0) como aquellos en los que ocurre el evento y los (-) como los anteriores al ENSO.

La periodicidad de estos fenómenos es variable. El ENSO se ha reconocido en periodos de 2 a 7 años, mientras que la NAO en intervalos de aproximadamente 7 a 3 años y la co-ocurrencia de ambos en periodos de 6 años (Rogers, 1984).

Estos eventos afectan a las áreas de distribución de la tortuga lora ubicada en el Norte del Golfo y en el Este de EE. UU. y posiblemente también al área de anidación, por lo cual es probable que influyan en el ciclo de vida de *L. kempi*.

## OBJETIVOS

Caracterizar el clima de la playa de anidación, que se extiende entre Punta Jerez y Soto la Marina en escalas anual, estacional, mensual y diaria durante el periodo 1978-1998.

Describir y comparar las condiciones climáticas de las localidades de Soto la Marina, Aldama, Barra del Tordo y Punta Jerez; así como la tendencia de las variaciones de Soto la Marina y Rancho Nuevo.

Determinar si los datos de Soto la Marina reflejan la tendencia de las variaciones de Rancho Nuevo para ser relacionados con la distribución temporal de las tortugas marinas.

Describir los ciclos de la temperatura ambiental y la precipitación de Soto la Marina y Punta Jerez en el periodo 1925-1998.

Determinar las variables con mayor incidencia en las condiciones climáticas en la localidad de Soto la Marina, dentro de las temporadas de anidación comprendidas entre 1979 y 1998.

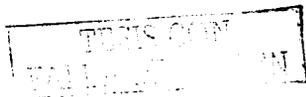
Estimar la influencia de los fenómenos de mesoescala (ENSO, PNA y NAO) en la zona de anidación. Elaborar hipótesis acerca de su influencia en el área de distribución de la especie.

## MÉTODOS

La descripción de las condiciones de la zona de anidación se realizó a partir de la información de 4 estaciones meteorológicas<sup>1</sup> cercanas a la playa de Rancho Nuevo. Las de Barra del Tordo y Punta Jerez se localizan al Sur, Aldama al Oeste y Soto la Marina al Norte. Su ubicación y claves se encuentran en la Tabla B.1. En Rancho Nuevo se hicieron algunas mediciones en 361 días, del intervalo 1981-1985, con una estación meteorológica electromecánica Khalsico Mod. 40AM160, compuesta de un termógrafo basado en un tubo de Bourdon, un anemómetro y un pluviómetro de cubeta.

Los registros mensuales de la temperatura media y la precipitación total de las cuatro estaciones meteorológicas se compararon entre sí. Los datos de temperatura de los periodos para los cuales hubo información común, fueron contrastados con un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía, mientras que las tendencias fueron relacionadas con un análisis de correlación simple de Pearson. Los registros de precipitación fueron analizados con los métodos no paramétricos de Kruskal - Wallis y de Spearman (Zar, 1974), los cuales son similares a los paramétricos, pero al basarse en los rangos de los datos son independientes del tipo de distribución de frecuencias.

<sup>1</sup> Los registros fueron tomados en 3 estaciones y en un observatorio meteorológicos, por lo que hay diferencias en la frecuencia de las mediciones y en el número de variables registradas, sin embargo, en el resto del texto serán referidos de manera genérica como "estaciones meteorológicas".



**Tabla B.1.- Estaciones meteorológicas cercanas a Rancho Nuevo. Claves: SMN: Servicio Meteorológico Nacional; CFE: Comisión Federal de Electricidad.**

Estación	S. la Marina	Aldama	B. del Tordo	P. Jerez
Coordenadas	23° 46' N 98° 13' O	22° 54' N 98° 04' O	23° 03' N 97° 46' O	22° 53' N 97° 46' O
Altitud	12 m	130 m	5 m	2 m
Clave	28152	28003		28078
Periodo	1927-1998	1960-1985	1986-1997	1925-1965
Tipo de Clima (García, 1998)	(A)C(w <sub>0</sub> )(e)w <sup>'''</sup>	(A)Ca(w <sub>0</sub> )(e)w <sup>'''</sup>	(A)Ca(w <sub>1</sub> )(e)w <sup>'''</sup>	(A)Ca(w <sub>1</sub> )(e)w <sup>'''</sup>
Periodicidad del registro	Horaria	Diaria	Diaria	Diaria
Distancia desde Rancho Nuevo (km)	63	35	16	31.5
Fuente	SMN	SMN	CFE	SMN

Nota: los registros diarios se toman a las 8:00 hrs

Las condiciones de Rancho Nuevo y de Soto la Marina se compararon a través de los promedios diarios de la temperatura del aire. Los métodos fueron descritos en párrafos anteriores. Los análisis se hicieron con el programa STATISTICA V. 4.5 para Windows (StatSoft, Inc., 1995)

Los registros diarios y mensuales de Soto la Marina y de Punta Jerez se emplearon para determinar la presencia de ciclos en la temperatura, precipitación y el viento. Los datos fueron reunidos en dos Grupos (Tabla B.2) dependiendo del intervalo de medición. Los valores mínimos y máximos, así como las diferencias entre los datos vecinos estuvieron controlados con un programa elaborado *ex profeso* (Filonov et al., 1998). Los segmentos con información irreal fueron reemplazados utilizando una función de interpolación cúbica. Posteriormente, para cada variable se calcularon las anomalías estandarizadas, restando el promedio a cada registro y dividiendo el resultado, entre su desviación estándar

**Tabla B.2.- Características de las series de tiempo utilizadas.**

Grupo	Intervalo	Variable	Unidad	Periodo	N
Soto la Marina I	1 mes	Temperatura	°C	I/1927 - XII/1995	828
		Precipitación pluvial	mm		828
Soto la Marina II	1 día	Temperatura	°C	III/1979 - VIII/1996	6575
		Temp. máxima			6575
		Temp. mínima			6575
		Oscilación, térmica			6575
		Precipitación pluvial	mm		6575
		Velocidad del viento	m/s		6575
Punta Jerez I	1 mes	Dirección del viento	grados	I/1925 - XII/1961	6575
		Temperatura	°C		444
		Precipitación pluvial	mm		444

Se estimó el espectro  $C_x(\omega)$  de las amplitudes para cada serie (Bendat y Piersol, 1967; Jenkins y Watts, 1969; Konyayev, 1990):

$$C_x(\omega) = \int_0^T x(t) \cdot \exp - i2\pi\omega t dt, \quad (B.1)$$

Donde:

$x(t)$ : serie de tiempo

$T$ : longitud total de la serie  
 $\omega$ : frecuencia

Los autoperiodogramas  $S_{xx}(\omega)$  y los periodogramas cruzados  $S_{xy}(\omega)$  se definieron como:

$$S_{xx}(\omega) = \frac{1}{T} C_x(\omega) \cdot C_x^*(\omega) \quad (B.2)$$

$$S_{xy}(\omega) = \frac{1}{T} C_x(\omega) \cdot C_y^*(\omega) = P_{xy}(\omega) - iQ_{xy}(\omega) \quad (B.3)$$

Donde:

$P_{xy}(\omega)$ ,  $Q_{xy}(\omega)$ : son las partes verdaderas e imaginarias del periodograma cruzado  
 (\*): conjugado complejo.

El espectro estimado se obtuvo suavizando las frecuencias del periodograma:

$$\hat{S}_{xx}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{xx}(\omega') Z(\omega - \omega') d\omega' \quad (B.4)$$

Donde:

$Z(\omega)$ : función de suavizado.

Las estimaciones de la función de coherencia  $C^2_{xy}$ , fueron calculadas para cada par de series de tiempo:

$$C^2_{xy}(\omega) = \frac{|\hat{S}_{xy}(\omega)|^2}{\hat{S}_{xx}(\omega) \cdot \hat{S}_{yy}(\omega)} \quad (B.5)$$

y la diferencia de fase:

$$\Delta\varphi_{xy}(\omega) = \arctg(\hat{Q}_{xy}(\omega) / \hat{P}_{xy}(\omega)) \quad (B.6)$$

Los intervalos de confianza fueron estimados para cada nivel utilizando algoritmos estándares descritos en la literatura (Jenkins y Watts, 1969; Konyaev, 1990).

Los ciclos diarios de temperatura y viento de Soto la Marina se detectaron en los registros del 1 de marzo al 31 de agosto de cada una de las temporadas comprendidas entre 1979 y 1996. La estimación en intervalos permitió excluir los armónicos anual y semestral de las series de tiempo. Por otra parte, con los espectros anuales se calculó el espectro promedio, el cual tiene un elevado valor de confianza.

Se analizaron la temperatura media, mínima, máxima y la oscilación térmica, pero sólo se muestran los resultados de la media porque los ciclos obtenidos fueron similares.

Por otra parte, ya que se partió del supuesto de que la descripción de las condiciones climáticas y de su variabilidad dentro de cada una de las temporadas de anidación, proporciona elementos para la elaboración de hipótesis acerca de las relaciones entre las tortugas marinas y el ambiente, se analizó la variabilidad y la tendencia de la temperatura, la precipitación, la nubosidad, la humedad

relativa y el viento en los intervalos abril - junio del período 1975-1998 de las estaciones de Soto la Marina y Barra del Tordo. La tendencia se describió con análisis de regresión simple.

Las anomalías estandarizadas (AE) de temperatura y precipitación mensual se calcularon a partir de la ecuación:

$$AE = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (B.8)$$

Donde:

$x_i$ : valor mensual

$\bar{x}$ : normal

$\sigma$ : desviación estándar

Las variables con mayor influencia en el clima entre abril y junio se distinguieron con el análisis de factores por componentes principales (ACP) en los datos de Soto la Marina y Barra del Tordo.

Se emplearon tres tipos de matrices cuyas dimensiones dependieron del número de meses y variables analizadas. En la primera se incluyeron los años para los que fue posible obtener el mayor número de variables y registros, denominados como Tipo I en la Tabla B.3. Posteriormente fueron analizados los años tipo II, en los cuales se redujo el número de variables a un conjunto que fuera común, con el objeto de establecer comparaciones; en la tercera matriz se agruparon los años tipo II de todo el período, con el objetivo de distinguir aquellas que tuvieron mayor influencia en el sistema a lo largo de todo el lapso.

Tabla B.3.- Intervalos y variables utilizadas en el análisis de factores por componentes principales.

Años Tipo I		Unidades	Años Tipo II	
1979	Temp. max.	°C	1976, 1979	Temp max
1983-1985	Temp. min.	°C	1980-1985	Temp min
1991-1994	Tensión de Vapor	°C	1989-1998	Tensión de Vapor
	Humedad Relativa	%		Humedad Relativa
	Evaporación	ml /día		Velocidad de Viento
	Visibilidad	km		Nubosidad
	Presión	mb		Pp
	Insolación	Hrs		
	Vel de Viento	m /seg		
	Nubosidad	unidad		
	Precipitación	mm		

A pesar de que la distribución de frecuencias de la precipitación y la dirección del viento no fue normal, ambas fueron incluidas porque el objetivo del análisis fue obtener una aproximación a las variables que tuvieron mayor incidencia en el sistema (Hair *et al.*, 1995) y que posiblemente fueron importantes para las hembras durante su estancia en la playa, asimismo se excluyeron los datos del intervalo 1986-1988 de todas las matrices, porque se careció de registros de viento y de acuerdo a la literatura (Casas-Andreu, 1978) se considero que esta variable era importante durante la anidación.

Antes de efectuar los ACP, cada una de las variables fue estandarizada utilizando una ecuación similar a la B.8, posteriormente se contabilizaron las correlaciones significativas entre las variables. Para evaluar lo adecuado de la muestra (MSA) y determinar si las variables, tanto en lo individual como en conjunto, pueden ser empleadas dentro del análisis, se aplicó el método de Kaiser-Meyer-



Olkin para cada matriz y variable así como la prueba de esfericidad de Bartlett, ambas incluidas en el programa SPSS v. 8.0 Windows (SPSS, 1997).

La prueba de adecuación de la muestra (MSA) arroja valores entre 0 y 1 y permite determinar la proporción en que una variable es predecible por las restantes, mientras que la prueba de esfericidad de Bartlett indica la probabilidad de que la matriz de correlación tenga un número suficiente de correlaciones significativas (Hair *et al.*, 1995).

En algunos casos se optó por utilizar los datos a pesar de que el MSA de algunas variables fue menor al umbral de 0.5 puesto que el valor global superó ese valor (Hair *et al.*, 1995). No obstante, cabe mencionar que se emplearon las temperaturas máxima y mínima en lugar de la media porque en la mayoría de los años analizadas, el MSA obtenido para esa variable fue menor a 0.5, lo cual disminuyó el valor del índice de la matriz correspondiente. Por otra parte, desde el punto de vista biológico, las temperaturas extremas podrían ser más importantes como reguladoras del comportamiento de las hembras de tortugas marinas que la temperatura promedio.

El número de factores se seleccionó de acuerdo al valor de los eigenvalores y al método gráfico de Cattell (tomado de Pla, 1986). La significancia de los coeficientes de correlación de las variables con los factores, se estimó utilizando el criterio descrito en Hair *et al.* (1995), por lo que de acuerdo al número de datos (30 y 91) se consideraron como significativos los mayores a 0.9 y 0.55, respectivamente. Para destacar las variables con mayor influencia se utilizó la rotación VARIMAX Normalizada.

La relación de la temperatura y la precipitación con los procesos atmosféricos que afectan a grandes áreas geográficas, fue estimada a partir de las anomalías estandarizadas estacionales y mensuales de la temperatura y la precipitación total, medidas en Soto la Marina en el lapso 1951-1998. Los valores estacionales se calcularon a partir de la clasificación tradicional, puesto que Gutiérrez de Velasco y Winant (1996) señalan que ese criterio es adecuado para describir la variabilidad climática del Golfo de México.

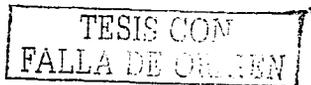
Los índices de los fenómenos atmosféricos utilizados fueron el Índice de la Oscilación del Sur (SOI), el Índice del patrón Pacífico - Norteamérica (PNA) y el de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). Los tres fueron obtenidos de la página WEB dedicada a los índices de fenómenos atmosféricos de la NOAA (<http://nic.fb4.noaa.gov:80/data/cddb/>) y son estimados de la siguiente manera

El SOI (Philander, 1990) es igual a la diferencia normalizada de la presión al nivel del mar entre las estaciones meteorológicas de Puerto Darwin (Australia) y Papeete (Tahiti). Los valores negativos (<-1) frecuentemente son acompañados por El Niño o evento "caliente" y los positivos (>1) por La Niña o fenómeno "frio" en el Pacífico Oriental Tropical.

El Índice del Patrón Pacífico - Norteamérica (PNA) es obtenido de acuerdo con Wallace y Gutzler (1981) a partir de la combinación lineal de las anomalías normalizadas de las altitudes geopotenciales de la troposfera superior (Z) en 4 centros, cuyas coordenadas están anotadas en la ecuación:

$$PNA = 1/4 (Z (20^{\circ}N, 160^{\circ}O) - Z (45^{\circ}N, 165^{\circ}O) + Z (55^{\circ}N, 115^{\circ}O) - Z (30^{\circ}N, 85^{\circ}O)) \quad (B.9)$$

El Indicador de la NAO es definido por Mann y Lazier (1996) como la diferencia normalizada de la presión a nivel del mar entre las estaciones meteorológicas de Ponta Delgada (Azores) y de Reikiavik (Islandia)



Las anomalías de temperatura y precipitación se relacionaron con los Índices con los métodos de correlación y regresión lineal, simple y múltiple incluidos en el programa STATISTICA V. 4.5 para Windows (StatSoft, 1995). También se hicieron análisis de correlación cruzada por lo que los valores de los índices se desplazaron desde 0 hasta 12 meses y de 0 a 4 estaciones, de acuerdo al retraso del efecto del ENSO en el sudeste de EE.UU. descrito por Ropelewski y Halpert (1986).

Otra manera de determinar la influencia del ENSO fue a través de la comparación de los promedios de las anomalías estacionales de temperatura y precipitación en años "Niño", "No-Niño" y "Niña" (Tabla B.4), con un ANDEVA de una Vía (Zar, 1974). También se contrastó la proporción de anomalías positivas y negativas entre los años Niño:No Niño, Niño:Niña y Niña:No Niño, utilizando la prueba de  $\chi^2$  aplicada a tablas de contingencia de  $2 \times 2$ .

Tabla B.4.- Años tipificados como "Niño", "No -Niño" y "Niña", de acuerdo con el valor del Índice Multivariado del Niño (Wolter, 1987; Wolter y Timlin, 1998).

Niño	No -Niño	Niña
1958, 1966, 1973, 1976, 1982-1983, 1987, 1991-1992, 1997-1998	1951, 1952, 1953, 1954, 1956 - 1964, 1967-1970, 1972, 1975, 1977-1981, 1984-1986, 1988, 1990, 1993- 1996	1950, 1955, 1965, 1971, 1974, 1989, 1998-2000

El número de huracanes que se presentaron en el Golfo y el Atlántico entre 1871 y 1998 se obtuvo del Atlas de Arroyo *et al.* (1976) y en la página WEB del National Hurricane Center de EE UU dependiente de la National Oceanic and Atmospheric Administration ([www.nhc.noaa.gov/tracks](http://www.nhc.noaa.gov/tracks)). La tendencia del número anual de estos eventos en el Golfo de México y el Atlántico se estimó con una ecuación de regresión lineal simple valorada con un ANDEVA al 95% de confianza. Las oscilaciones se destacaron con el método de medias móviles para intervalos de 10 años. Adicionalmente se contabilizó el número de huracanes que pasó o tocó tierra en un radio de 2° alrededor del área de anidación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## RESULTADOS

### Comparación de los registros entre las estaciones meteorológicas.

La temperatura presentó un ciclo anual bien definido en las cuatro estaciones meteorológicas (Fig. B.1), el período más cálido y con menores variaciones estuvo comprendido entre junio y agosto; mientras que el más frío abarcó de diciembre a febrero. Los meses con mayores oscilaciones fueron abril, mayo y septiembre. Desde el punto de vista espacial, la temperatura fue menos cambiante en Punta Jerez y Aldama que en Soto la Marina, en donde la oscilación térmica anual y las desviaciones estándar mensuales fueron mayores.

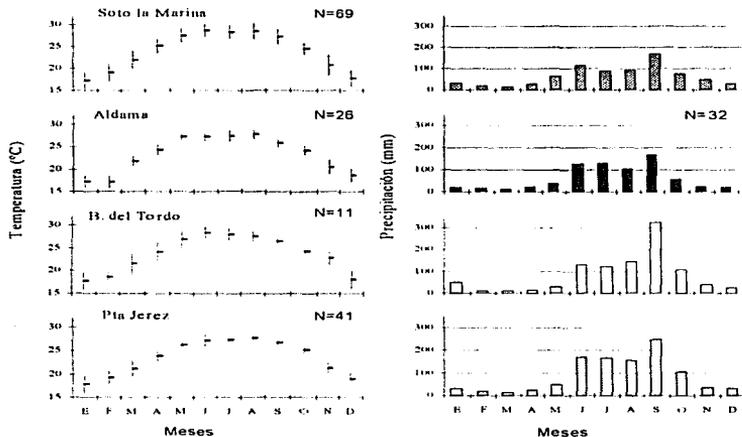


Fig. B.1.- Promedios mensuales de las 4 estaciones meteorológicas cercanas a la zona de Rancho Nuevo . Temperatura  $\pm$ Desv estándar. El valor de N indica el número de años promediado y es igual para ambas variables, con la excepción de Aldama.

Las variaciones en Barra del Tordo aparentemente fueron mayores que en Punta Jerez, aunque es probable que hayan sido consecuencia de la brevedad de la serie de tiempo, lo que limitó su utilidad para el cálculo de las normales<sup>4</sup> (Tabla B.5)

<sup>4</sup> Normales: promedios obtenidos de series de tiempo de un mínimo de 30 años.

La temporada de lluvias se inicia en mayo, decrece ligeramente en agosto a consecuencia de la canícula, y alcanza su máximo en septiembre. En Soto la Marina, Punta Jerez y Aldama, la variabilidad de los promedios mensuales fue similar. En Barra del Tordo la precipitación fue mayor, aunque no fue comparable con la del resto de las estaciones porque la longitud de la serie de tiempo fue corta, como se señaló en el párrafo anterior.

Tabla B.5.- Normales de temperatura y precipitación. La información de Barra del Tordo y de Aldama sólo se utilizó como referencia. N: Meses promediados.

Variable	Soto la Marina			Aldama			Barra del Tordo			Punta Jerez		
	Normal	Desv. est.	N	Normal	Desv. est.	N	Normal	Desv. est.	N	Normal	Desv. est.	N
Temp	23.85	4.54	748	23.31	4.07	291	23.69	4.13	115	23.54	3.74	443
Pp	64.08	96.68	781	71.55	96.79	282	84.20	138.60	132	90.79	112.55	431

Las comparaciones de los promedios mensuales de temperatura de Soto la Marina con los de las otras tres estaciones, realizadas para describir la variabilidad de este factor a lo largo de la zona de anidación, indican que sólo hubo diferencias significativas con Barra del Tordo (Tabla B.6). Esto puede ser resultado de la longitud de la serie de tiempo, aunque también es probable que existan diferencias microclimáticas a lo largo de los 90 km de costa que existen entre ambas estaciones meteorológicas, determinadas por los cambios en la vegetación, la topografía de la zona terrestre adyacente, las condiciones marinas y la escorrentía

Tabla B.6.- Cociente de varianzas (F) obtenido de la aplicación del ANDEVA entre los registros de temperatura de Soto la Marina con las estaciones que encabezan las columnas 2 a 4.

Parámetro	Punta Jerez	Barra del Tordo	Aldama
Grados de libertad	1, 841	1, 233	1, 545
F	1.81	4.07	0.034
F	0.17	0.04	0.852
Temperatura media (°C)	SM= 23.97 PJ= 23.59	SM= 24.38 BT= 23.27	SM= 23.30 A= 23.23

El contraste de los valores de precipitación entre las estaciones, realizado con el método de Kruskal - Wallis, indica que hubo diferencias significativas entre Aldama y Punta Jerez y entre Soto la Marina y el resto de las estaciones, mientras que éstas no fueron significativas con respecto a Barra del Tordo (Tabla B.7)

Es probable que estos resultados indiquen la existencia de un gradiente latitudinal creciente de Sur a Norte en temperatura y decreciente en la precipitación. Sin embargo, es difícil realizar una función de regresión que permita corroborar esas tendencias por la escasez de información común de las cuatro estaciones.

Los coeficientes de correlación de Pearson y de Spearman fueron significativos (Tabla B.8), lo que indica que la tendencia de la variabilidad en Soto la Marina, Aldama y Punta Jerez fue similar. Los registros de Barra del Tordo, aunque menos numerosos, también estuvieron correlacionados. Estos resultados permiten suponer que las diferencias entre las estaciones fueron de magnitud. Los coeficientes de correlación de Spearman fueron más pequeños que los de Pearson y aunque es difícil comparar ambos coeficientes, es probable que esto indique que la precipitación pluvial presentó mayores fluctuaciones

Tabla B.7.- Resultados de los análisis de Kruskal - Wallis (H) aplicados para comparar la precipitación total mensual de Soto la Marina con las estaciones que encabezan las columnas 3 a 5 y la de Punta Jerez y Aldama. Se presenta la mediana porque el método se basa en esta medida.

	Parámetro	Punta Jerez	Barra del Tordo	Aldama
		(PJ)	(BT)	(A)
Soto la Marina (SM)	N	865	235	1233
	H	30.08	1.40	8.47
	p	0.00	0.235	0.003
	Mediana de la precipitación total (mm)	PJ= 40.9 SM= 28	BT= 45.55 SM= 36.05	A= 34 SM= 29.6
Punta Jerez (PJ)	N	Datos insuficientes		
	H	7.49		
	p	4.27		
	Mediana de la precipitación total (mm)	0.038 A= 33.75 PJ= 40.9		

Tabla B.8.- Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura) y Spearman (precipitación) obtenidos entre las Estaciones anotadas en la primera columna y las de los encabezados. Todos los coeficientes fueron significativos al 95% de confianza. N: número de datos mensuales.

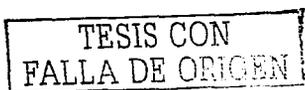
Estación	Soto la Marina				Aldama	
	Temperatura		Precipitación		Precipitación	
	r	N	r	N	r	N
Aldama	0.96	290	0.62	527		
B. del Tordo	0.96	108	0.71	107		
P. Jerez	0.90	383	0.60	397	0.73	300

Los resultados de las comparaciones de los valores diarios de temperatura de Rancho Nuevo y Soto la Marina (Tabla B.9) sugieren que también hubo diferencias significativas en magnitud ( $F_{1,0.5}=39.35$ ,  $p<0.01$ ), pero que la tendencia entre ambas localidades fue similar ( $r=0.70$ ,  $p<0.01$ ,  $N=361$ ).

Tabla B.9.- Temperatura media ( $\pm$ desviación estándar) diaria de Soto la Marina y Rancho Nuevo. Se incluyen las diferencias térmicas ( $\Delta$  SM-RN) promedio diarias entre ambas estaciones.

Año	Soto la Marina	Rancho Nuevo	$\Delta$ SM-RN	N
81	27.34 $\pm$ 1.87	25.90 $\pm$ 1.76	1.44 $\pm$ 1.36	105
82	28.37 $\pm$ 3.23	28.93 $\pm$ 2.07	-0.55 $\pm$ 1.85	107
83	28.11 $\pm$ 2.60	26.43 $\pm$ 1.49	1.68 $\pm$ 1.64	31
84	28.62 $\pm$ 1.83	26.98 $\pm$ 1.66	1.87 $\pm$ 3.56	79
85	29.25 $\pm$ 1.07	27.80 $\pm$ 1.04	1.44 $\pm$ 0.93	38

La diferencia promedio entre ambas estaciones ( $\Delta$  SM-RN) fue de aproximadamente +1.6 °C, ya que según el ANDEVA y el análisis de comparaciones múltiples de Duncan, los valores sólo fueron significativamente distintos en 1982, cuando la diferencia fue negativa (Tabla B.9). Ese año la temperatura de Soto la Marina disminuyó en los últimos días de abril y los primeros de mayo (Fig. B.2). Esto sugiere que ocasionalmente la temperatura de Rancho Nuevo fue más elevada que la de Soto la Marina. Por otra parte, la desviación estándar más grande se registró en 1984, cuando se detectaron diferencias puntuales de hasta 7 °C.



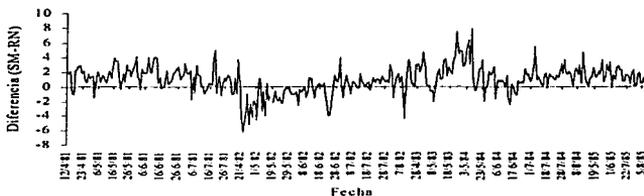


Fig. B.2.- Diferencias térmicas (° C) entre Soto la Marina y Rancho Nuevo (SM-RN).

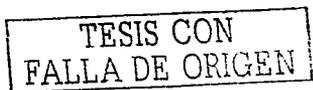
*Descripción de las variaciones y de los ciclos en las series de tiempo de Soto la Marina y Punta Jerez.*

*Ciclos de largo y mediano plazo*

Las variaciones anuales se describieron con la información de periodos discontinuos de temperatura y precipitación de las estaciones meteorológicas de Barra del Tordo, Punta Jerez, Aldama y Soto la Marina. Sin embargo, la carencia de series de tiempo prolongadas limitó el análisis espectral a los registros de Soto la Marina y Punta Jerez, estaciones ubicadas en los extremos Norte y Sur de la playa de anidación.

La temperatura de Soto la Marina fue particularmente elevada en las décadas de los treinta y cuarenta. Disminuyó en los cincuenta y aunque la información de los sesenta fue insuficiente, de acuerdo a lo reportado para Norteamérica (Hidore, 1996; Marshal y Kushir, 1997), es posible suponer que esa tendencia se mantuvo hasta el final de esa década. A partir de 1977 aproximadamente, se inició un incremento paulatino que se mantuvo hasta 1998. En Punta Jerez la tendencia fue similar pero las variaciones fueron menores. En ese lapso, que es importante porque correspondió al periodo en el que se ha trabajado más intensamente en la protección de las tortugas sobre la playa, los años más cálidos fueron 1987, 1991, 1996 y 1998.

En la Tabla B.10 se muestran las ecuaciones de regresión lineal utilizadas para describir las tendencias de las anomalías estandarizadas de temperatura. En las 4 estaciones meteorológicas las pendientes estimadas con las series de tiempo completas fueron positivas, a pesar de que los coeficientes no fueron significativos. Por otra parte, las regresiones aplicadas a segmentos de las series de tiempo, seleccionados con base en los coeficientes de determinación (renglones resaltados en negritas en la Tabla B.10), se detectaron pendientes positivas ( $p < 0.05$ ) entre la década de los veinte y cuarenta y a partir de mediados de los ochenta, y negativas entre los cincuenta y el primer lustro de los setenta, acordes con la descripción del párrafo anterior.



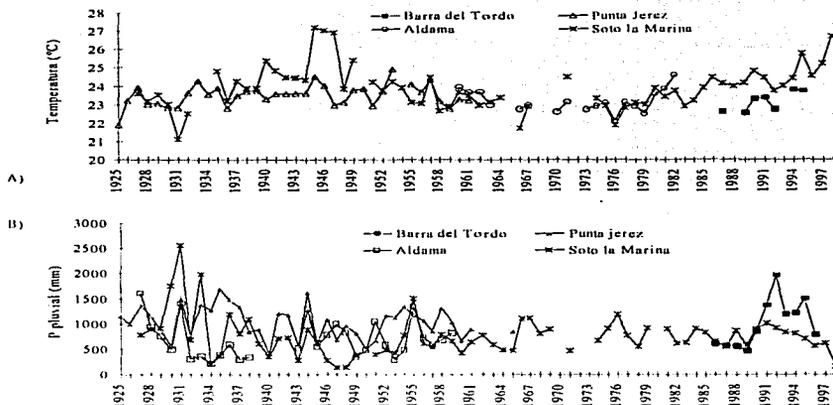


Fig. B.3.- Series de tiempo de temperatura (A) y precipitación pluvial (B).

Tabla B.10.- Parámetros de las regresiones elaboradas con las anomalías estandarizadas de temperatura con excepción de Barra del Tordo, las cuales fueron elaboradas con los registros originales. Las regresiones significativas al 95% de confianza se muestran en negritas.

Estación	Intervalo	F	F <sub>ajustada</sub>	N	F	p	Regresión
Soto la Marina	1925-1998	0.004	-0.011	63	0.29	0.58	$y = -1.62 + 0.00083x$
	1927-1946	<b>0.55</b>	<b>0.52</b>	<b>18</b>	<b>20.12</b>	<b>0.0003</b>	$y = -75.3 + 0.038x$
	1946-1967	0.61	0.58	20	28.88	$4.7 \times 10^{-6}$	$y = 69.76 - 0.0356x$
Aldama	1974-1998	0.69	0.68	<b>25</b>	<b>52.79</b>	$2.1 \times 10^{-7}$	$y = -50.04 + 0.025x$
	1960-1982	0.0006	-0.06	18	0.010	0.91	$y = 0.99 - 0.00051x$
	1960-1970	0.81	0.77	7	21.86	0.005	$y = 59.65 - 0.03x$
Punta Jerez	1970-1982	0.34	0.28	<b>12</b>	<b>5.31</b>	0.04	$y = -47.52 + 0.024x$
	1987-1995	0.59	0.52	7	8.68	0.025	$y = -245.83 + 0.13x$
Barra del Tordo	1925-1961	0.097	0.071	37	3.78	0.059	$y = -11.14 + 0.017x$
	1925-1953	0.19	0.16	29	6.44	0.017	$y = -35.76 + 0.03x$
	1953-1961	0.73	0.7	9	19.72	0.003	$y = 507.0 - 2.46x$

Los análisis de covarianza indican que no hubo diferencias significativas entre las pendientes obtenidas para los periodos de ascenso y descenso de temperatura entre las estaciones meteorológicas, con la excepción de lo registrado entre 1953 y 1961 en Punta Jerez, cuya pendiente fue significativamente distinta ( $-0.24$  anomalía/año). Las pendientes positivas promedio fueron de 0.03 y 0.02 anomalía/año y la negativa de  $-0.03$  anomalía/año.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La precipitación fue más variable y su tendencia, aunque negativa, no fue significativa. En las estaciones del Sur, Barra del Tordo y Punta Jerez, la lluvia fue más abundante que en el Norte (Fig. B.3), tal como fue descrito en el inciso anterior. En el primer lustro de la década de los treinta y de los noventas se registraron las lluvias más abundantes, que en algunos casos coincidieron con un elevado número de huracanes, como en el primer caso, o con la presencia del fenómeno del Niño, como en 1992.

La tendencia de las anomalías de la precipitación fue negativa en la mayoría de las series de tiempo utilizadas (Tabla B.11), pero las pendientes fueron pequeñas y poco significativas, con la excepción de algunos periodos registrados en Soto la Marina y Aldama. En general las fluctuaciones entre años fueron muy amplias.

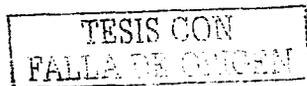
Tabla B.11.- Parámetros de las regresiones elaboradas con las anomalías estandarizadas de la precipitación, con la excepción de Barra del Tordo, en donde se utilizaron los datos originales. Las ecuaciones significativas al 95% de confianza se muestran en negritas.

Estación	Intervalo	r	r <sub>ajustada</sub>	N	F	p	Regresión
Soto la Marina	1925-1998	0.02	0.005	67	1.35	0.25	y=12.98-0.0066x
	1929-1946	<b>0.30</b>	<b>0.25</b>	15	<b>6.25</b>	<b>0.025</b>	<b>y=369.47-0.19x</b>
	1946-1967	0.18	0.14	17	3.80	0.06	y=-112.10+0.057x
Aldama	1974-1998	0.17	0.13	22	4.44	0.04	y=61.35-0.03x
	1960-1982	0.015	-0.038	20	0.29	0.59	y=37.37-0.019x
	1955-1971	0.72	0.68	8	<b>18.41</b>	<b>0.003</b>	<b>y=498.4-0.28x</b>
Barra del Tordo	1972-1983	0.29	0.20	9	3.28	0.10	y=365.8-0.18x
	1987-1995	0.007	—	6	0.036	0.85	y=-1724.5+9.3x
	1925-1961	0.04	0.013	37	1.48	0.23	y=36.21+0.018x
Punta Jerez	1925-1953	0.10	0.07	27	<b>3.051</b>	0.09	<b>y=83.70-0.043x</b>
	1963-1961	0.4	0.33	7	4.59	0.075	y=369.86-0.18x

Por otra parte, el análisis espectral permitió distinguir los ciclos de mediano y corto periodo. En los espectros de temperatura y precipitación de Soto la Marina (Fig B.4A), hubo un pico cuyo periodo fue de 11 años, correspondiente a uno de los ciclos de la actividad solar (Philander, 1990). La aportación de este armónico a la amplitud total de la fluctuación de ambas variables fue poco significativa porque no sobrepasó el intervalo de confianza correspondiente al 80% y su amplitud media cuadrática fue de 0.28 °C. Este pico no se apreció en el espectro de Punta Jerez posiblemente porque la serie de tiempo fue más pequeña (36 años) que la de Soto la Marina (69 años).

En las dos estaciones, tanto en los espectros de temperatura como en los de precipitación, se detectaron picos cuya densidad fue similar a los del ENSO, ya que se distribuyeron en los periodos 2, 2.5, 3.5, y 7 años (Fig. B.4), no obstante, fueron significativamente inferiores a los picos de los armónicos anuales y semestrales, puesto que su amplitud media cuadrática varió entre 0.13 y 0.14 °C, equivalente al 5% de la amplitud del pico anual. Como se aprecia en los diagramas intermedios de la figura B.4, el nivel de confianza del análisis de coherencia de los picos de 2.5 y 7 años en la temperatura y la precipitación fue superior al 90%.

El ciclo de 7 años además de estar relacionado con el ENSO, también podría estar vinculado con la Oscilación del Atlántico Norte (Ropelewski y Halpert, 1986). El efecto del ENSO y de otros fenómenos de circulación atmosférica de gran amplitud geográfica se describe en la penúltima sección de este Capítulo.



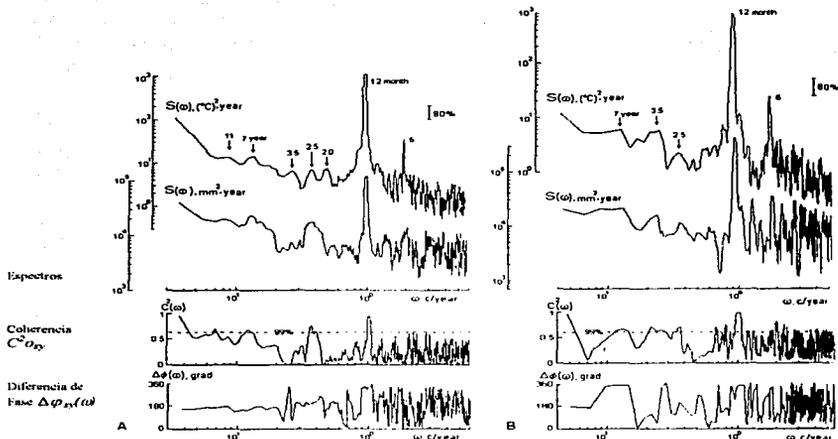


Fig. B.4.- Espectros de precipitación y temperatura de Soto la Marina (A) y Punta Jerez (B). La línea punteada del análisis de coherencia muestra el nivel de confianza del 99%.

La similitud de los periodos en las dos estaciones (Tabla B.12), ubicadas en los límites Norte y Sur de la zona de anidación, sugiere que ambas variables oscilan de manera semejante en toda la zona. No obstante cabe señalar que se presentaron pequeñas variaciones, por lo que las amplitudes medias cuadráticas de la temperatura de Soto la Marina fueron ligeramente más grandes que las de Punta Jerez en los ciclos con periodos menores a 3.5 años, mientras que en esta última localidad las amplitudes de los ciclos de precipitación de 0.5 y 7 años fueron mayores que en Soto la Marina.

Tabla B.12.- Periodo y amplitud media cuadrática de los picos mostrados en la figura B.4. Los periodos están registrados en años. Los valores de la amplitud media cuadrática se muestran entre paréntesis y sus unidades son las de las variables originales.

Variables	Soto la Marina	Punta Jerez
Temperatura (°C)	0.5 (0.72), 1 (3.15), 2 (0.13), 2.5 (0.13), 3.5 (0.12), 7 (0.14), 11 (0.28)	0.5 (0.70), 1 (3.10), 2.5 (0.07), 3.5 (0.12), 7 (0.14)
Precipitación (mm)	0.5 (6.5), 1 (24.2), 2.5 (5.4), 7 (5.3), 11 (5.2)	0.5 (8.3), 1 (24.0), 2.5 (5.4), 3.5 (4.7), 7 (6.3)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Ciclos anuales y semestrales

Los picos más evidentes en el Espectro correspondieron con los armónicos anuales y semestrales (Fig. B.4). La amplitud media cuadrática del armónico anual de las series fue semejante en las dos estaciones meteorológicas, ya que en ambas la amplitud de la temperatura fue superior a 3 °C y la de la precipitación fue cercana a los 24 mm. Esto fue un indicador adicional de que estas variables fluctuaron de manera similar a lo largo de la zona de anidación.

El análisis de coherencia realizado entre la temperatura y la precipitación de Soto la Marina fue significativa al 99% de confianza en el armónico anual (diagrama intermedio en la Fig. B.4A). Mientras que el análisis de diferencia de fase señaló que las temperaturas más elevadas se "adelantaron" de 1 a 1.5 meses con respecto a las máximas precipitaciones, tal como fue descrito en los primeros incisos de este capítulo.

La amplitud de los armónicos semestrales fue menor que la de los anuales. En Soto la Marina alcanzó 0.72 °C y 6.5 mm, respectivamente, mientras que en Punta Jerez 0.7 °C y 8.3 mm. En esta última localidad la coherencia del armónico semestral fue significativa y la diferencia de fase fue análoga a la anual, como se muestra en los diagramas intermedio e inferior de la figura B.4B. En Soto la Marina el armónico semestral estuvo débilmente representado en el espectro de la precipitación, por lo que la coherencia fue poco significativa.

### Ciclos diarios

En los espectros de la temperatura promedio, de la dirección y de la velocidad del viento del intervalo marzo - agosto, durante el cual se presentó la temporada de anidación, hubo varios ciclos significativos (diagramas 1 a 3 de la Fig. B.5). Los picos espectrales más grandes correspondieron a las fluctuaciones de 7 y 12 días y los de menor magnitud a las de 3 a 5 días (Tabla B.13).

Tabla B.13.- Duración en días de los periodos de los picos dominantes de los espectros de las series tipo II. La amplitud media cuadrática se anota entre paréntesis y sus unidades corresponden a las de los registros originales.

Variables	Periodo medio de las oscilaciones (Soto la Marina)
Temperatura	3 (0.20), 4 (0.31), 5 (0.31), 7 (0.65), 12 (0.57)
Velocidad del viento	3 (0.25), 4 (0.31), 5 (0.27), 7 (0.57), 12 (0.48)
Dirección del viento	3, 4, 5, 7, 5, 12

En el caso de la precipitación, las variaciones fueron suaves por lo que el espectro fue tipificado como "rojo" (no se presenta la figura) ya que careció de armónicos aislados y las frecuencias siguieron un *continuum* decreciente suave como resultado del carácter puntual y local de las lluvias en la zona tropical (Richl, 1979).

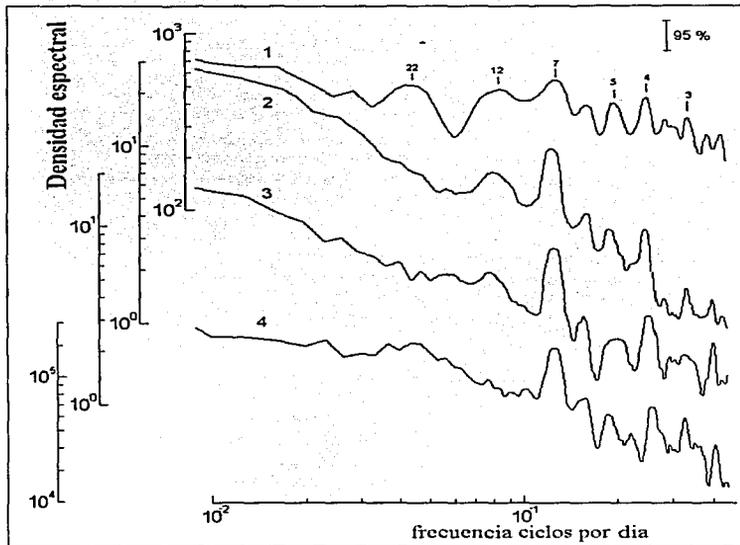


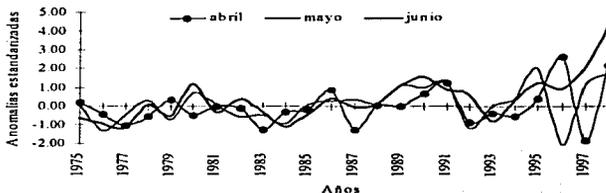
Fig. B.5.- Espectros de frecuencias de la temperatura promedio (1), dirección (2) y la velocidad (3) del viento.

En la región Nororiental Mexicana se han descrito ciclos diarios, asociados con el paso de eventos de carácter sinóptico (Filonov, com. pers.), así por ejemplo, Mosiño y García, (1973), Metcalfe (1987) y Salas *et al.* (1992), encontraron ciclos con periodos variables entre dos y nueve días. También se han descrito oscilaciones horarias en velocidad y dirección del viento que han sido relacionadas con mareas atmosféricas y el sistema diurno de brisas marinas (Salas *et al.*, 1992).

**Variaciones climáticas en Soto la Marina durante las temporadas de anidación del lapso 1978-1998. Comparación entre Soto la Marina y Barra del Tordo entre 1986 y 1996.**

**Temperatura**

Los meses del trimestre abril - junio presentan amplias oscilaciones, en especial durante abril, como lo muestra la desviación estándar de la Tabla B.14A. Entre 1974 y 1989 las anomalías estandarizadas mensuales presentaron pequeñas fluctuaciones, contenidas en su mayoría entre los valores de  $\pm 1$  que corresponden a la primera desviación estándar, por lo que pueden tipificarse como "normales". A partir de 1990 las anomalías superaron la unidad, tanto en el sentido positivo como en el negativo, con excepción del intervalo 1992-1994.



**Fig. B.6.- Anomalías estandarizadas mensuales del período abril - junio registradas en Soto la Marina.**

Por lo tanto, aunque la temperatura mostró una tendencia creciente entre 1975 y 1990, ésta ha sido más pronunciada a partir de la década de los noventa (Fig. B.6) y particularmente en los valores de junio (Tabla B.14B).

**Tabla B.14.- Promedios mensuales (A) y tendencias (B) de la temperatura de Soto la Marina.**

A			
Mes	N	Promedio	Desviación estándar
abril	62	25.16	1.73
mayo	60	27.43	1.60
junio	62	28.58	1.52

B					
Período	r2	r2:ij	F	p	Ecuación
trimestral	0.214	0.20	19.06	0.00004	$Y = -141.31 + 0.071x$
Abril	0.102	0.062	2.52	0.12	$y = -92.97 + 0.468x$
Mayo	0.14	0.106	3.73	0.06	$y = -105.33 + 0.053x$
Junio	0.449	0.424	17.95	0.0003	$Y = -225.64 + 0.114x$

Aunque la base de datos de Barra del Tordo no permitió calcular las anomalías, la elevada correlación entre la temperatura de esa localidad y la de Soto la Marina, permite suponer que siguieron una tendencia similar.

Las mayoría de los valores extremos de la temperatura de Soto la Marina se encontraron entre 30 y 40 °C y entre 12 y 24 °C (Fig. B.7). La temperatura máxima fue creciente en mayo y junio ( $r < 0.05$ ), mientras sólo en éste último mes ocurrió algo semejante con la temperatura mínima (Tabla B.15).

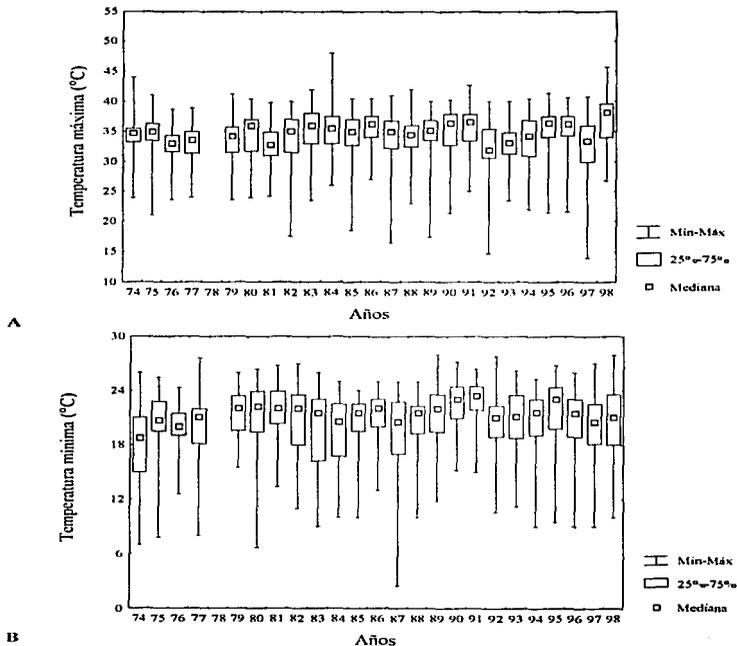


Fig. B.7.- Variaciones de la temperatura máxima (A) y mínima (B) de Soto la Marina.

**Tabla B.15.- Tendencias de la temperatura máxima y mínima de Soto la Marina entre 1974 y 1998. Los resultados significativos se muestran en negritas.**

Variable	Periodo	r <sup>2</sup>	r <sub>aj</sub>	F	p	Ecuación
Temperatura máxima	trimestral	0.005	0.005	11.99	0.0005	y=30.5+0.04x
	abril	0.004	0.003	3.26	0.07	y=36.2-0.04x
	mayo	0.027	0.025	19.11	0.01	y=28.1+0.075x
	junio	0.05	0.049	36.7	0.01	y=27.01+0.10x
Temperatura mínima	trimestral	0.01	0.001	3.06	0.08	y=19.11+0.019x
	abril	0.0006	----	0.44	0.5	y=19.21-0.013x
	mayo	0.0001	----	0.134	0.71	y=21.06+0.005x
	junio	0.073	0.072	54.7	0.01	y=16.51+0.071x

En esta localidad, a pesar de que la tendencia de las temperaturas mínima y máxima fue similar durante algunos años, la correlación fue relativamente pequeña ( $r = 0.43$ ,  $p < 0.01$ ,  $N = 2\ 045$ ), porque en los intervalos 1983-1985 y 1994-1998 se obtuvieron valores extremos en ambas variables. Los años en los que se registraron las temperaturas mínimas extremas fueron 1980, 1983-1985, 1994 y 1997 mientras que las más elevadas se detectaron en 1984, 1991, 1995 y especialmente en 1998. La correlación más alta entre las temperaturas máxima y mínima correspondió a los datos de abril ( $r = 0.3$ ,  $p < 0.01$ ,  $N = 675$ ) y la más baja a los de junio ( $r = 0.23$ ,  $p < 0.01$ ,  $N = 689$ ). También se correlacionaron los datos mensuales entre sí y se encontraron coeficientes significativos entre abril y mayo ( $r = 0.59$ ,  $p < 0.05$ ) en la temperatura máxima y entre mayo y junio ( $r = 0.44$ ,  $p < 0.05$ ) en la mínima.

En Barra del Tordo la tendencia creciente solo fue apreciable en la temperatura mínima, tanto en los análisis trimestrales como en los mensuales (Tabla B 16). Mientras que, a diferencia de Soto la Marina, las temperaturas mínima y máxima presentaron una mayor correlación entre ellas ( $r = 0.75$ ,  $p < 0.01$ ,  $N = 792$ ). No obstante, se excluyó a gran parte de los periodos en los que se detectaron valores extremos por las características de la serie de tiempo.

**Tabla B.16.- Tendencias de la temperatura máxima y mínima de Barra del Tordo entre 1986 y 1996. Los resultados significativos se muestran en negritas.**

Variable	Periodo	r <sup>2</sup>	r <sub>aj</sub>	F	p	Ecuación
Temperatura máxima	trimestral	0.011	---	0.89	0.34	y=25.73+0.031x
	abril	0.0009	---	0.25	0.61	y=23.74+0.027x
	mayo	0.014	0.010	3.83	0.0511	y=22.62+0.070x
	junio	0.00004	----	0.012	0.910	y=30.93-0.0041
Temperatura mínima	trimestral	0.023	0.022	19.48	0.01	y=6.55+0.17x
	abril	0.02	0.0163	5.48	0.019	y=6.057+0.154x
	mayo	0.07	0.068	21.48	0.001	y=-0.727+0.258x
	junio	0.027	0.024	7.69	0.005	y=15.004+0.1x

Por otro lado, en ambas localidades la temperatura presentó variaciones pronunciadas en las primeras seis semanas y permaneció estable el resto del trimestre, aunque ocasionalmente se registraron algunos descensos bruscos, particularmente en la semana 14 (que esta fuera del intervalo trimestral) relacionados con lluvias y chubascos, como en 1992 y 1995.

En Soto la Marina la temperatura estuvo significativamente correlacionada con la nubosidad, la humedad relativa, la evaporación y la tensión de vapor. Los signos de las correlaciones fueron

negativos, en casi todos los casos, en especial cuando se analizó la temperatura máxima. Estos análisis no fueron aplicados a los datos de Barra del Tordo porque se careció de esa información.

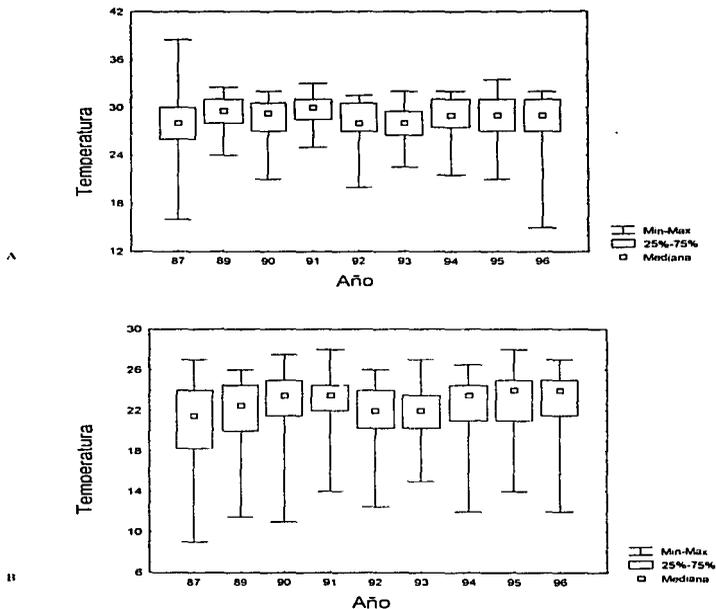


Fig. B.8.- Variabilidad de la temperatura máxima(A) y mínima (B) en Barra del Tordo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Precipitación pluvial

La precipitación pluvial en Soto la Marina fue inferior a la normal en la mayor parte del intervalo analizado, con la excepción del 1976-1977, 1985, 1991 y 1992 cuando las anomalías superaron la primera desviación estándar (Fig. B.9). Los valores normales se presentan en la Tabla B.17.

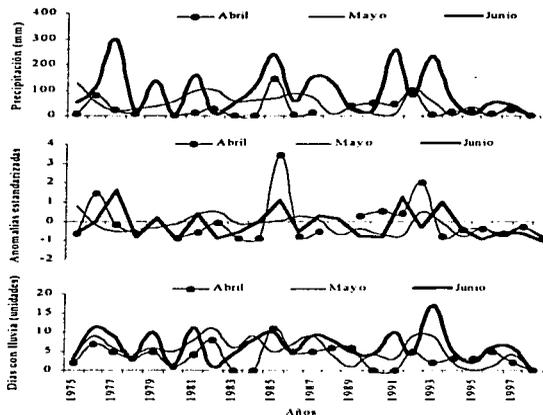


Fig. B.9.- Precipitación total mensual, anomalías y días con lluvia registrados en Soto la Marina

Tabla B.17.- Promedio mensual de la precipitación total mensual en Soto la Marina.

Mes	N	Promedio	Desv. estándar
abril	65.00	29.43	33.52
mayo	65.00	64.12	82.06
junio	66.00	114.88	113.27

Los trimestres con menor precipitación fueron los de 1980, 1983 y el intervalo 1994-1998. En éste último año no se reportaron precipitaciones. El número de días con lluvia al mes usualmente fue menor a 10, excepto en mayo de 1994 cuando se registraron precipitaciones en más de 15 días. Por otra parte, el volumen no estuvo correlacionado con el número de días en los que se registraron lluvias.

En general las lluvias fueron escasas en abril y junio y la tendencia general fue decreciente.

En Barra del Tordo la precipitación total fue más abundante que en Soto la Marina, particularmente en 1994 (Fig. B.10), aunque la diferencia no fue significativa, según el análisis de Kruskal - Wallis descrito previamente.

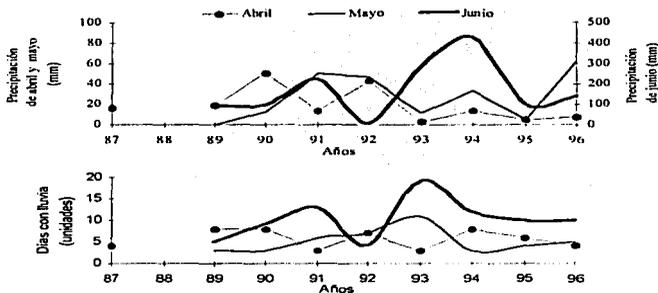


Fig. B.10.- Precipitación total mensual y días con lluvia registrados en Barra del Tordo.

La lluvia estuvo significativa y positivamente correlacionada con la humedad relativa, la nubosidad y de manera negativa con la temperatura máxima y la velocidad del viento en la mayoría de los años analizados.

#### *Nubosidad*

Esta variable solo se reportó en Soto la Marina, en donde el número promedio de nubes fue ligeramente mayor en el segundo lustro de los setenta, mientras que los años más despejados fueron 1982 y 1998 (Fig. B.11). El coeficiente obtenido de la aplicación del modelo no paramétrico de regresión arrojó valores significativos ( $H = -0.264$ ,  $N = 670$ ,  $p < 0.01$ ) y negativos lo que fue un indicador de la tendencia decreciente.

En los años analizados se registró una mayor cantidad de nubes en abril. La correlación de la nubosidad con la temperatura y la velocidad del viento fue negativa, mientras que con la precipitación y la humedad relativa fue positiva.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

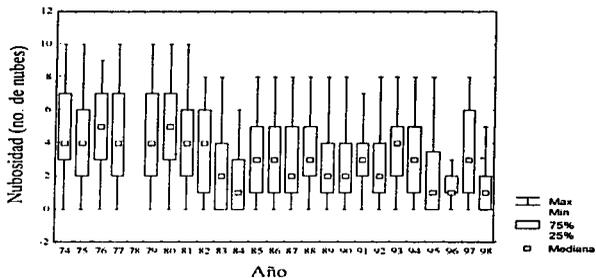


Fig. B.11.- Nubosidad (número de nubes) en Soto la Marina.

### *Humedad relativa*

La humedad relativa se encontró entre el 55 y el 82 %, aunque algunos registros estuvieron fuera de ese intervalo. La tendencia de la variable fue decreciente, particularmente en mayo y junio (Tabla B.18); sin embargo, los coeficientes de determinación fueron pequeños porque la humedad varió cíclicamente. En el periodo de estudio los años más húmedos se presentaron en los setentas y los menos húmedos después de 1995 (Fig. B.12).

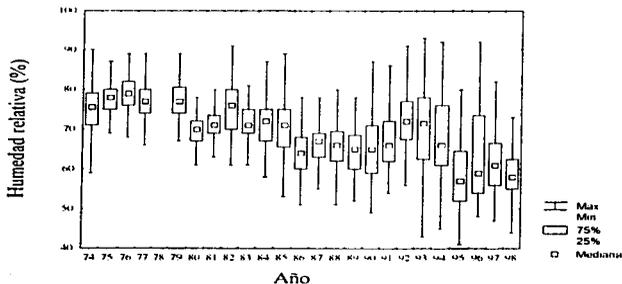


Fig. B.12.- Variaciones de la humedad relativa (%) en Soto la Marina.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las fluctuaciones diarias se incrementaron a lo largo del periodo de estudio, como lo muestra la desviación estándar. Esta variable estuvo inversamente relacionada con la temperatura y la velocidad del viento y directamente con la nubosidad y la precipitación.

**Tabla B.18.- Tendencia de la humedad relativa. Todos los intervalos fueron significativos al 99% de confianza.  $r^2$  aj: coeficiente de determinación ajustado.**

Periodo	$r^2$	$r^2_{aj}$	F	Ecuación
trimestral	0.268	0.267	766	$y=130.0-0.069x$
Abril	0.099	0.098	72.97	$y=103.54-0.38x$
Mayo	0.394	0.393	462.17	$y=143.29-0.85x$
Junio	0.358	0.357	401.59	$y=144.51-0.87x$

### *Viento*

En la mayoría de los años analizados, los vientos dominantes provinieron del Norte y del E-SE principalmente. Los primeros se presentaron en abril y mayo, en eventos que duraron unos cuantos días; mientras que los segundos prevalecieron desde la primera o segunda semana de mayo.

Los Nortes mostraron amplias variaciones, en duración y velocidad, tanto entre eventos, como entre años (ver figura A.7 en el Apéndice A). Las velocidades registradas en Soto la Marina fueron más grandes que las reportadas en Barra del Tordo (Fig. B.13).

Los vientos alisios, provenientes del Este y Sudeste dominaron durante mayo y junio. Como se muestra en los histogramas de las frecuencias (Fig. B.13), su velocidad y dirección se mantuvieron más o menos constantes.

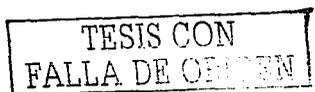
En relación con la variabilidad interanual, descrita a partir de la desviación estándar, se presentaron algunas diferencias. La velocidad promedio y su desviación estándar presentaron dos picos, el primero en 1980 y el segundo en 1990, mientras que los valores más bajos se registraron en el intervalo 1982-1985 y en 1993.

La velocidad del viento estuvo correlacionada en 9 de los 14 años analizados, de manera negativa con la humedad relativa y en algunos periodos con la temperatura, la nubosidad y la precipitación. Estas correlaciones se elaboraron con información de Soto la Marina.

### *VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL CLIMA DE LA ZONA DE ANIDACIÓN DURANTE EL TRIMESTRE ABRIL-JUNIO.*

Para elaborar hipótesis acerca de las variables que influyen en la zona de anidación se hicieron análisis de componentes principales. El primero de ellos se realizó con cada uno de los meses del intervalo abril - junio de los años Tipo 1 y solo permite describir la variabilidad del sistema en esos periodos, puesto que el número de datos (30) fue insuficiente (Hair *et al.*, 1995).

El MSA, que indica si las variables en lo individual o en conjunto son adecuadas para el ACP, arrojó valores mayores a 0.5 para las matrices, a pesar de que en algunos años el MSA de las variables fue menor (particularmente los de la precipitación, la dirección y velocidad del viento). Por otra parte, los resultados de la prueba de esfericidad de Bartlett fueron adecuados. En esta escala de tiempo solo se abordan los tres primeros factores porque son los que explican la mayor proporción de la varianza (ver Métodos).



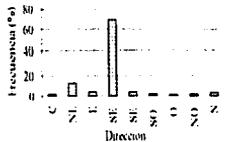
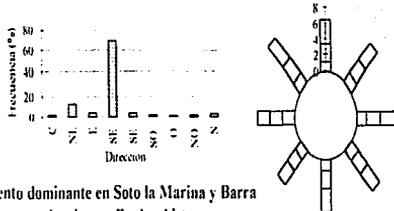
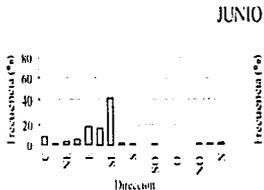
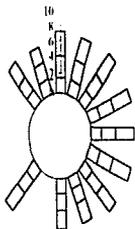
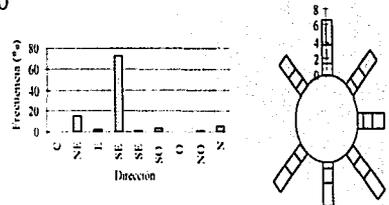
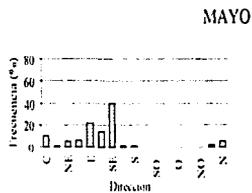
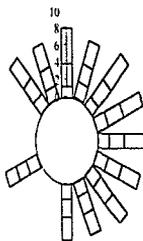
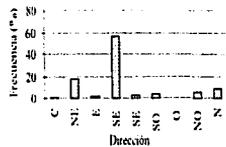
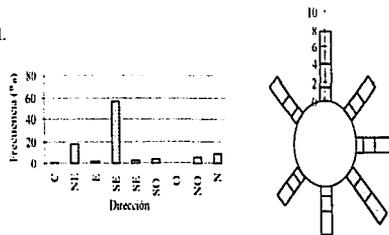
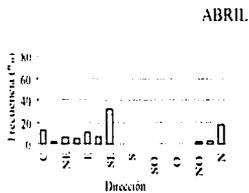
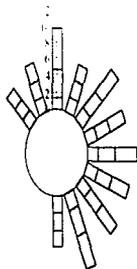


Fig. B.13.- Dirección y velocidad del viento dominante en Soto la Marina y Barra del Tordo (m/seg) presentada en las rosas de viento. En los histogramas se presenta la distribución de frecuencias

En la mayoría de las matrices de abril, el Factor 1 presentó las mayores correlaciones con la temperatura máxima, la insolación, la nubosidad y la evaporación. En algunos años también fueron importantes la presión, la humedad relativa, la tensión de vapor y el viento. La proporción de la varianza representada por este factor varió entre el 32 y el 48%. En mayo y junio las variables que presentaron las mayores correlaciones fueron esencialmente las mismas que se destacaron en abril, aunque en mayo se adicionó la evaporación. La varianza explicada en mayo varió entre el 30 y el 43% y en junio entre el 33 y el 51 %.

En el Factor 2, cuya proporción de la varianza explicada se encontró entre el 13 y el 27% para los tres meses, las variables que sobresalieron con más frecuencia fueron la tensión de vapor y la temperatura mínima, aunque en junio decreció su relevancia. En el Factor 3, las variables con significativas correlaciones fueron más diversas y en la mayoría de los años los coeficientes no fueron significativos.

El siguiente análisis fue elaborado a partir de la conjunción de los datos de los tres meses de los años de Tipo I. De manera similar a lo descrito en el primer Factor, destacaron la temperatura máxima, la insolación y la nubosidad. Estas dos últimas alcanzaron los coeficientes más altos dentro de las matrices rotadas.

En el segundo Factor, rotado y sin rotar, las variables más importantes fueron la temperatura mínima y la tensión de vapor, mientras que en el tercer factor sobresalieron la dirección y la velocidad del viento. En el resto de los factores las variables importantes cambiaron entre los años aunque se distinguieron la visibilidad, la presión, la evaporación y la humedad relativa.

Por otra parte, la proporción de la varianza de cada una de las variables incluida dentro de cada factor fue muy elevada, ya que todas las comunalidades (communalities) fueron superiores a 0.95.

El ACP aplicado sobre los años del tipo I, mostró que la insolación, la nubosidad y la temperatura máxima fueron las variables con mayor peso y que la relación entre las dos primeras fue inversa. Esto fue un indicador de que la variabilidad de esas matrices dependió del ingreso de energía solar al sistema, lo cual fue más evidente al rotar los factores puesto que, con excepción de 1992 y 1996, la insolación y la nubosidad presentaron los coeficientes de correlación más altos. En 1992 también cobraron importancia la temperatura máxima y la evaporación. Por otra parte, el único año en el que la temperatura mínima, la tensión de vapor y la evaporación tuvieron el mayor peso fue 1996.

En el factor 2 la temperatura mínima y la tensión de vapor fueron las variables más sobresalientes en la mayoría de los años, tanto en las matrices no-rotadas como en las rotadas. En 1983 y 1996 la humedad relativa fue significativa.

En contraste con los dos primeros factores, que estuvieron estrechamente relacionados con el ingreso de energía, los tres restantes fueron influenciados por una mayor diversidad de variables, tales como la dirección y velocidad del viento en el tercer factor, la precipitación en el cuarto y la visibilidad en el quinto.

Los análisis preliminares de las matrices de los años tipo II, muestran que aunque los resultados de la prueba de esfericidad de Bartlett fueron significativos en la totalidad de los años analizados hubo variaciones en los indicadores MSA, por lo que en 7 de los 20 años los valores globales fueron ligeramente inferiores a 0.5. La Tensión de Vapor y la Humedad Relativa presentaron los valores más bajos, lo que señala que fueron menos predecibles a partir del resto de las variables.

El Factor I representó aproximadamente entre el 30 y el 50% de la varianza total. Esta proporción se incrementó entre 1975 y 1990; posteriormente disminuyó hasta 1996, año a partir del cual nuevamente tendió a aumentar.

Las variables más relevantes dentro de las matrices sin rotar, fueron la temperatura máxima, la temperatura mínima, la tensión de vapor, la humedad relativa y la nubosidad (Fig. B.14A y B), mientras que dentro de las matrices rotadas continuaron sobresaliendo la temperatura mínima y la tensión de vapor en la mayoría de los años y en una menor proporción, la humedad relativa y la nubosidad (Fig. B.14C y D).

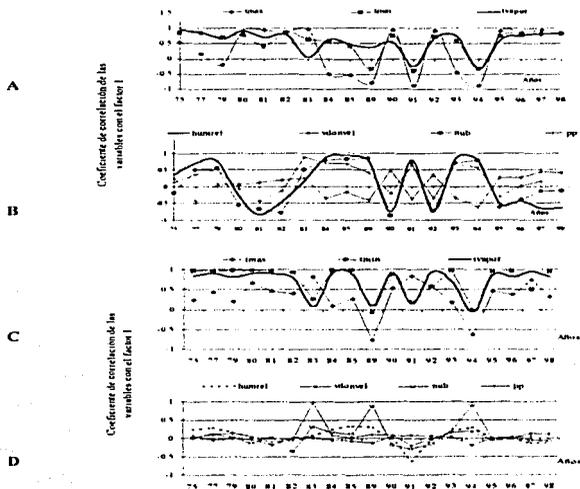
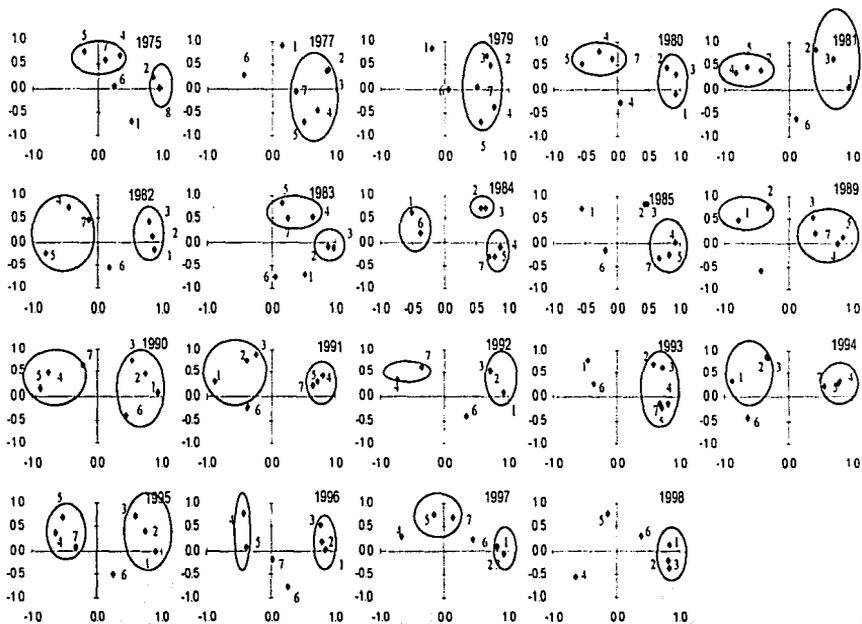


Fig. B.14.- Coeficientes de correlación de las variables con el Factor I de los años tipo II. Las gráficas A y B muestran las matrices que no fueron rotadas y la C y D, las que fueron rotadas con el método VARIMAX Normalizado.



TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Fig. B.15.-Dispersogramas del Factor I vs. Factor II de los ACP aplicados a las matrices tipo II. Estos resultados son de las matrices no rotadas. Las variables fueron agrupadas de manera heurística. Claves:  
 1: Temperatura máxima; 2: Temperatura mínima; 3: Tensión de vapor; 4: Humedad relativa; 5: Nubosidad; 6: Velocidad del viento; 7: Precipitación pluvial

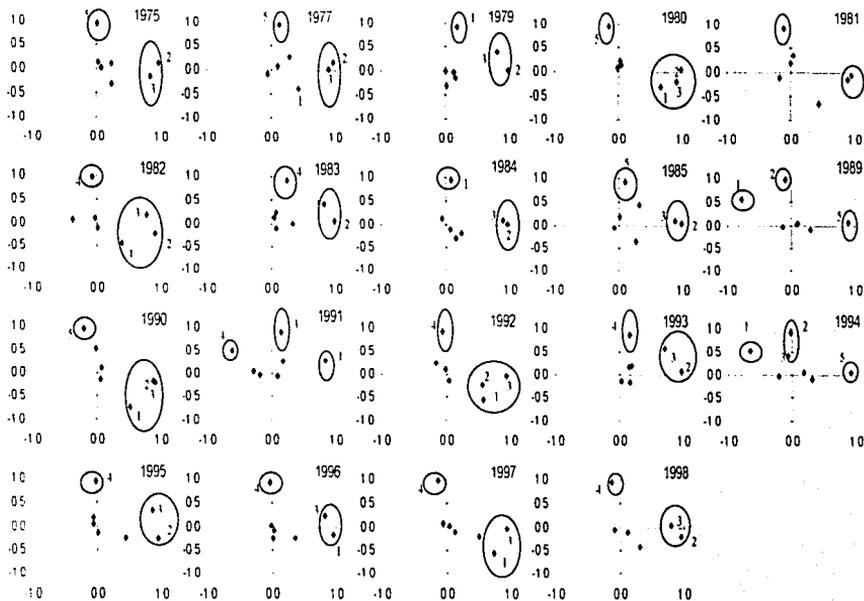


Fig. B.16.-Dispersogramas del Factor I vs. Factor II de los ACP aplicados a las matrices tipo II. Estos resultados son de las matrices rotadas. Las variables fueron agrupadas de manera heurística. Solo se anotaron las claves de las variables relevantes. Claves: 1:Temperatura máxima; 2: Temperatura mínima; 3: Tensión de vapor; 4: Humedad relativa; 5: Nubosidad; 6: Velocidad del viento; 7: Precipitación pluvial

El segundo factor abarcó entre el 17.3 y el 32.8% de la varianza y siguió una tendencia decreciente a lo largo del periodo. Las variables importantes durante el segundo lustro de los setenta fueron la nubosidad y la temperatura máxima, aunque con signos opuestos. En los años siguientes se destacaron la temperatura mínima y la tensión de vapor. Ocasionalmente también cobraron relevancia la velocidad del viento y la precipitación.

En la figura B.15 se muestran los dispersogramas con el Factor I en el eje de las ordenadas y el II en el de las abscisas. En estos resaltan dos conjuntos de variables, dentro del primero (G1) se encuentran la temperatura (mínima y/o máxima) y la tensión de vapor, mientras que en el segundo (G2) la nubosidad, la humedad relativa y la precipitación. En general, ambos conjuntos se ubican en cuadrantes opuestos y la preponderancia de uno u otro varió a lo largo de los años, así por ejemplo el G1 tuvo mayor peso en 1992, 1995 y 1996-1998, mientras que el G2 fue relevante en 1984, 1985 y 1994. Dentro de las matrices rotadas (Fig. B 16) el G1 quedó compuesto principalmente por la tensión de vapor y la temperatura mínima, mientras que el G2 por la humedad relativa. La relevancia de uno u otro grupo dentro del Factor I fue similar a la descrita para las matrices no rotadas.

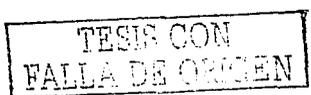
El tercer factor representó entre el 11.2 y el 18.5% de la varianza. La proporción explicada también fue decreciente como ocurrió con el Factor II, pero el recorrido fue menor. En las matrices no rotadas las variables más sobresalientes fueron la velocidad del viento y la precipitación, mientras que en las rotadas se adicionaron la nubosidad y la humedad relativa.

Los análisis preliminares aplicados a la matriz resultante de unir todos los datos de los intervalos abril-junio de los años disponibles, indican que, tanto el conjunto como cada una de las variables, fueron adecuadas para el análisis. Los primeros cuatro factores abarcaron el 81.5% de la varianza total (Tabla B 19A).

Las variables más relevantes dentro de las matrices no rotadas y rotadas están en las tablas 19 B y C y ahí se observan algunas diferencias, particularmente a partir del Factor III.

En las matrices rotadas destacaron la nubosidad y la temperatura máxima en el primer Factor, la temperatura mínima en el segundo, la humedad relativa en el tercero y la tensión de vapor en el cuarto. En los componentes 5 y 6, cuyo aporte a la varianza total fue de aproximadamente el 10%, las variables más importantes fueron la precipitación y la velocidad del viento. Sin embargo, cabe mencionar que las comunalidades fueron menores que las obtenidas en los análisis precedentes, lo que indica que una menor proporción de la varianza de las variables fue incluida dentro de los factores.

Este resultado corrobora lo que se destacaba en los análisis previos. Las variables relacionadas con el ingreso de energía al sistema tales como la insolación y la temperatura máxima tienen la mayor influencia. Otras variables importantes fueron la humedad relativa y la tensión de vapor, las cuales están relacionadas de manera negativa con la temperatura.



**Tabla B.19.- Resultados de la aplicación del ACP a la matriz con el total de datos de Soto la Marina del período 1975-1998. A) Valores de los eigenvalores obtenidos en las matrices no rotadas y rotadas con el método Varimax normalizado según Kaiser. B) Coeficientes de correlación de las variables con los Factores en las matrices no rotadas. C) Coeficientes de correlación de las variables con los Factores en las matrices rotadas.**

Factor	A			A		
	Eigenvalores	% Varianza	% Acumulado	Eigenvalores matriz rotada	% de Varianza	% Acumulado
1	2.21	31.67	31.67	1.37	19.62	19.62
2	1.64	23.53	55.20	1.22	17.47	37.09
3	.99	14.26	69.47	1.05	15.01	52.10
4	.84	12.07	81.54	1.02	14.69	66.80
5	.60	8.65	90.20	1.00	14.41	81.21
6	.38	5.42	95.62	1.00	14.40	95.62
7	.30	4.37	100.00			

Variable	B					
	Factores					
	1	2	3	4	5	6
Temperatura máxima	-0.85	0.23	-0.11	0.14	1.47E-02	7.63E-02
Temperatura mínima	-0.40	0.75	9.72E-02	2.37E-02	-0.37	0.26
Tensión de vapor	-0.16	0.82	-0.11	-0.23	0.30	-0.35
Humedad relativa	0.72	0.37	-0.12	-0.20	0.33	0.37
Velocidad del viento	-0.31	-5.34E-02	0.90	-9.23E-02	0.27	6.14E-02
Nubosidad	0.70	0.29	0.34	-0.18	-0.41	-0.16
Precipitación	0.42	0.32	0.13	0.82	0.11	-6.09E-02

Variables	C					
	Factores					
	1	2	3	4	5	6
Temperatura máxima	-0.63	0.50	-0.35	0.19	-7.52E-02	7.30E-02
Temperatura mínima	4.08E-03	0.94	-2.73E-02	0.23	3.51E-02	4.30E-02
Tensión de vapor	-1.82E-02	0.25	0.11	0.95	1.72E-02	-7.44E-03
Humedad relativa	0.26	-5.93E-02	0.92	0.13	0.12	-0.12
Velocidad del viento	-2.02E-02	4.80E-02	-0.10	-5.45E-03	-3.379E-02	0.99
Nubosidad	0.94	6.76E-02	0.16	4.46E-02	0.11	7.68E-04
Precipitación	0.12	1.96E-02	0.10	1.53E-02	0.98	-3.44E-02

En Barra del Tordo los ACP se aplicaron de manera similar, por lo que primero se trabajaron los períodos anuales y posteriormente el conjunto total. De los primeros sólo se describen los resultados obtenidos en los tres primeros componentes o factores, puesto que ellos explican más del 80% de la varianza de cada uno de los años.

También cabe mencionar que con excepción de 1994 y 1995, el valor del indicador de la adecuación de la muestra (MSA) de Olkin-Kaiser-Meyer obtenido para las matrices fue mayor a 0.5. En el primero de esos dos años, el valor del MSA obtenido para la precipitación fue particularmente bajo, aunque a diferencia de la dirección del viento, el resto de las variables tampoco excedió el umbral del 0.5. En 1995 el valor más bajo del MSA correspondió a la velocidad del viento.

Dentro de los 10 años analizados, el primer componente explicó entre el 24.2 y el 51.6 % de la varianza. Las temperaturas extremas y la dirección del viento tuvieron mayor peso dentro de las

matrices sin rotar, mientras que dentro de las rotadas predominó la temperatura máxima, con excepción de 1987, 1989, 1991 y 1996 cuando la temperatura mínima fue la más importante.

El segundo componente representó entre el 20 y 30% de la varianza. Dentro de las matrices no rotadas las variables con mayor relevancia fueron la precipitación y la velocidad del viento, mientras que dentro de las rotadas prevaleció ésta última.

El tercer factor representó entre el 12 y el 20% de la varianza. Las variables más importantes fueron la velocidad del viento y la precipitación, tanto en las matrices sin rotar como en las rotadas.

Los análisis preliminares del análisis global indican que aunque el conjunto de variables fue adecuado puesto que el coeficiente de esfericidad de Bartlett fue significativo y el valor del indicador MSA fue mayor a 0,5, los valores de la velocidad del viento y la precipitación fueron menores a ese umbral, lo cual limitó la utilidad de los resultados.

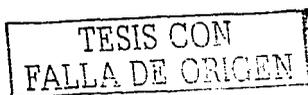
Tabla B.20.- Resultados de la aplicación de ACP a la matriz con el total de datos del período 1987-1996 de Barra del Tordo. A) Valores de los eigenvalores obtenidos en las matrices no rotadas y rotadas con el método Varimax normalizado según Kaiser. B) Coeficientes de correlación de las variables con los Factores en las matrices no rotadas. C) Coeficientes de correlación de las variables con los Factores en las matrices rotadas.

A						
Factor	Eigenvalores	% Varianza	% Acumulado	Eigenvalores	% de Varianza	% Acumulado
				matriz rotada		
1	1.97	39.40	39.40	1.74	34.95	34.95
2	1.05	21.09	60.49	1.00	20.13	55.08
3	1.00	20.15	80.64	1.00	20.04	75.13
4	0.72	14.47	95.12	1.00	19.99	95.12
5	0.24	4.87	100.00			

B				
Variables	Factores			
	1	2	3	4
Temperatura máxima	0.90	0.14	-3.404E-02	0.20
Temperatura mínima	0.88	8.59E-02	0.10	0.27
Velocidad del viento	1.11E-02	0.93	0.13	-0.33
Dirección del viento	-0.60	0.34	0.16	0.69
Precipitación	3.99E-02	-0.18	0.97	-9.44E-02

C				
Variables	Factores			
	1	2	3	4
Temperatura máxima	0.91	-5.70E-02	5.57E-02	-0.17
Temperatura mínima	0.93	7.79E-02	-1.19E-02	-0.10
Velocidad del viento	3.03E-02	-7.99E-03	0.99	5.470E-02
Dirección del viento	-0.20	4.77E-03	5.88E-02	0.97
Precipitación	1.58E-02	0.99	-7.96E-03	4.77E-03

Los resultados del análisis global muestran que los 3 primeros componentes contabilizaron casi el 80% de la varianza (Tabla B.20A). Las variables que tuvieron el mayor peso fueron las temperaturas máxima y mínima, el viento y la precipitación tanto en las matrices rotadas como en las no-rotadas (Tabla B.20B y C).



Los resultados de este análisis no son comparables con los obtenidos en Soto la Marina, porque no se incluyó al mismo número de variables, no obstante, las variables mas relevantes también estuvieron relacionadas con el ingreso de energía solar al sistema.

*Efecto de los fenómenos atmosféricos en la zona de anidación.*

Las anomalías estacionales de temperatura y precipitación del lapso 1950-1998 se correlacionaron con tres indicadores de fenómenos atmosféricos. En ese periodo las anomalías negativas de temperatura fueron más frecuentes que las positivas, particularmente en la primavera y el otoño de las décadas de los cincuenta y sesenta, aunque su magnitud varió entre unas décimas y poco más de un grado (Fig. B.17).

En algunos años las anomalías negativas se mantuvieron en las cuatro estaciones, tal como ocurrió en 1958, 1966, 1976 y 1983, que además fueron años ENSO (+), mientras que en otros se presentaron anomalías en los dos sentidos, como en 1972, 1981 y 1990. Por otra parte desde mediados de los ochenta se han incrementado las anomalías positivas como se indicó en el inciso correspondiente a la descripción de las variables.

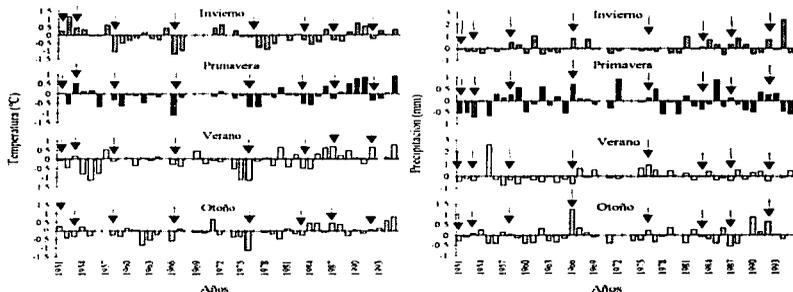


Fig. B.17.- Gráficas de las anomalías estacionales estandarizadas de la temperatura y precipitación en el periodo 1951-1996. Las flechas indican la ocurrencia del fenómeno de El Niño

De acuerdo con la literatura citada en los antecedentes, se esperaba que durante la ocurrencia del ENSO predominaran las anomalías negativas en la temperatura y las positivas en la precipitación, sin embargo, los resultados de los análisis de varianza de una vía y de Kruskal - Wallis no permitieron rechazar la hipótesis nula de igualdad de los promedios de los años No ENSO, ENSO(+) y La Niña (Tabla B.21). Mientras que la prueba de  $\chi^2$  aplicada a tablas de contingencia de  $2 \times 2$  (1 g l;  $\alpha=0.05$ ) mostró que no hubo diferencia significativa en la proporción de anomalías positivas y negativas de ambas variables entre los años ENSO(+)/Niña, ENSO (+)/No Niño y Niña/No Niño.



Estos resultados sugieren que el efecto del ENSO no es perceptible en periodos estacionales. En contraste, el análisis de correlación cruzada aplicado a las anomalías mensuales de temperatura y el SOI arrojó coeficientes negativos y significativos, tanto al adelantar como al retrasar, la serie de tiempo del índice (Fig. B.18A).

Tabla B.21.- Valores promedio de las anomalías estacionales y resultados del ANDEVA (F) y del método de Kruskal - Wallis (H) en los años ENSO(N= 7), Niña (N= 5) y No Niño (N= 31).

Variable		Invierno	Primavera	Verano	Oñoño
Temperatura	ENSO	-0.35	-0.29	-0.06	-0.11
	no ENSO	-0.06	-0.05	-0.07	-0.04
	Niña	0.16	-0.08	-0.50	-0.30
	F	1.75	0.81	2.30	1.00
	P	0.18	0.45	0.11	0.37
Precipitación	ENSO	0.29	-0.04	-0.37	0.14
	no ENSO	0.05	0.01	-0.02	-0.04
	Niña	-0.06	-0.30	0.45	-0.16
	H	1.59	0.84	4.12	0.84
	P	0.45	0.65	0.12	0.65

Los coeficientes de correlación significativos resultantes de los desplazamientos negativos son el resultado de la presencia de armónicos en las series de tiempo, mientras que los positivos indican el desfaseamiento entre las variables. El coeficiente de correlación obtenido durante el desplazamiento +5 meses sugiere que el efecto del ENSO en la temperatura de Soto la Marina se retrasa aproximadamente ese tiempo (Fig. B.18A). Cabe señalar que puede haber variaciones entre los años dependientes de las condiciones locales, de la intensidad del ENSO y la interacción de éste último con otros fenómenos atmosféricos, tales como el flujo zonal en las latitudes medias (Kumar y Hoerling, 1997, Ting et al., 1996), aunque también que es posible que el efecto en el NO del Golfo sea menos acusado que en el SE de EE.UU. y el Caribe (Wolter, 1987; Cárdenas y Naranjo, datos no publicados).

Los valores del coeficientes de correlación entre el patrón PNA y las anomalías térmicas fueron negativos y significativos cuando el desplazamiento fue de 0 y +1 (Fig. B.18B), lo que significa que los fenómenos asociados a este patrón se manifestaron de inmediato en la zona de anidación y que disminuyeron su temperatura. Los núcleos de alta presión característicos de este evento solo se producen durante el invierno y primavera por lo que el efecto se limita a ese periodo.

Por otro lado, el coeficiente de correlación entre la anomalía térmica y la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) también fue negativo y significativo cuando el desplazamiento fue de +5 y +9 (Fig. B.18C). Los valores positivos de este indicador están asociados con altas presiones en las Azores, por lo que las temperaturas invernales del centro y la costa Este de Estados Unidos (White y Downton, 1991) son templadas. Los coeficientes de correlación fueron más pequeños que los proporcionados por los otros dos índices, por lo que la relevancia de este fenómeno en la zona de anidación probablemente sea menor.

El coeficiente de determinación arrojado por un análisis de regresión múltiple aplicado a los tres indicadores y a las anomalías térmicas fue significativo ( $r^2=0.082$ ) cuando el desplazamiento fue de cero ( $F= 9.41$ ,  $p<0.01$ , g. l. 4,421). Los coeficientes de correlación parcial del SOI (-0.15) y el PNA (-0.24) fueron mayores que los de la NAO (0.097), aunque los tres fueron significativos. Esto es un indicador que estos fenómenos atmosféricos inciden casi de inmediato en la



temperatura de la zona de anidación, sin embargo, la proporción explicada de la varianza ( $r^2=0.08$ ), fue relativamente pequeña.

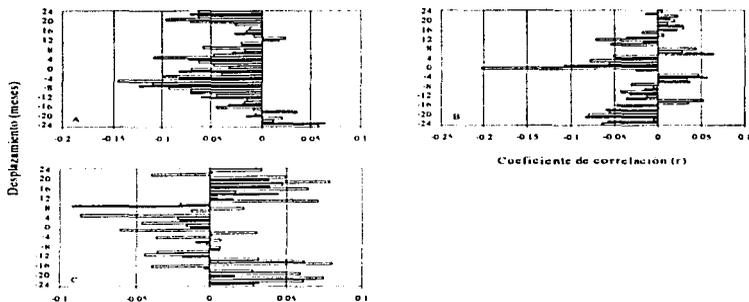


Fig. B.18.- Coeficientes de correlación cruzada entre las anomalías térmicas y: A) el Índice de la Oscilación del Sur (SOI); B) el patrón Pacífico Norteamérica (PNA); C) la Oscilación del Norte del Atlántico (NAO). Las variables desplazadas fueron los índices. Los valores menores a  $-0.085$  fueron significativos. Las series de tiempo son mensuales y cubren el lapso de 1951 a 1998.

Se hizo un análisis similar con la precipitación total (Fig. B.19) pero el coeficiente de correlación con el SOI no fue significativo, a pesar de que el análisis espectral mostró picos con periodos similares a este evento. Este resultado puede ser derivado de enmascaramiento del efecto del ENSO por la variabilidad estacional (Cárdenas y Naranjo, datos no publicados)

La relación entre el patrón PNA y la precipitación fue poco clara (Fig. B.19B), puesto que los coeficientes significativos fueron tantos positivos, como negativos, así por ejemplo, cuando el desplazamiento fue de cero, el coeficiente de correlación fue positivo. Por otra parte, la proporción en la que influyó el PNA fue menor al 1%. El desplazamiento +6 por el contrario arrojó un coeficiente negativo que probablemente estuvo asociado con la influencia de este patrón en los mecanismos generadores de lluvia, que en la zona de anidación estuvieron estrechamente relacionados con los huracanes. Estos últimos dependen de la temperatura marina, la cual puede ser modificada por el efecto del PNA.

Los coeficientes de correlación obtenidos con la NAO (Fig. B.19C) proporcionaron valores significativos con retrasos positivos (+20 y +21) y negativos (-6 y -22), lo cual fue un indicador de la naturaleza cíclica del índice, pero la relación entre el indicador y la precipitación pluvial no fue evidente por lo prolongado del destasamiento.

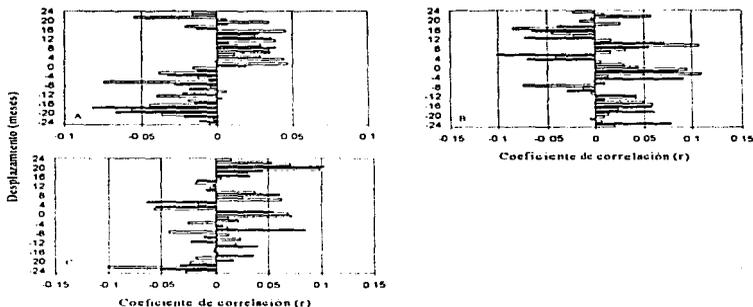


Fig. B.19.- Coeficientes de correlación cruzada entre la precipitación y: A) SOI; B) PNA; C) NAO. Los valores menores a  $-0.085$  fueron significativos. Las series de tiempo fueron mensuales y cubren el lapso de 1951 a 1998.

### Huracanes

El Atlántico tropical y el Mar Caribe es una zona ciclogénica, a partir de la cual algunos de los huracanes y tormentas tropicales se dirigen hacia el Golfo de México. Los registros de huracanes en el Atlántico y Golfo de México existentes desde 1871 indican que ha ocurrido un incremento paulatino en el número de estos eventos, que ha sido más acusado desde la década de los treinta, no obstante las variaciones son oscilatorias como se muestra en la línea gruesa elaborada con las medias móviles de 10 años incluida en la figura B.20.

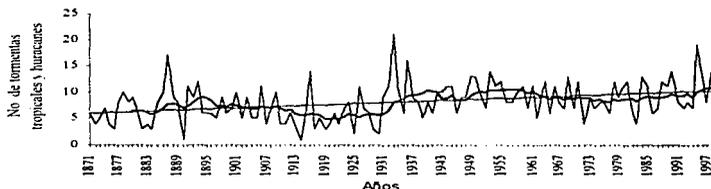


Fig. B.20.- Tendencia seguida por la cantidad de tormentas tropicales y huracanes detectados en el Atlántico y Golfo de México. La línea gruesa fue trazada con el método de las medias móviles de 10 años. La tendencia fue estimada con la ecuación de regresión lineal:  $y=0.033x-57.066$ ,  $p<0.05$ ,  $N=127$ .

De acuerdo con lo descrito por Sánchez y de la Lanza (1995), en la península de Yucatán y Tamaulipas el número promedio de huracanes por año es de 1.9. Entre 1950 y 1998 este promedio se mantuvo en 1.26 ciclones / año en el Noroccidente del Golfo con valores puntuales elevados en 1970, 1978 y 1979 y particularmente en 1998 cuando se presentaron 5 eventos (Fig. B.21). Desde el punto de vista temporal, los huracanes son más frecuentes entre agosto y octubre, aunque pueden ocurrir entre mayo y noviembre (Fig. B.22).

Dentro del período de estudio, comprendido entre 1975 y 1998 se detectaron 8 tormentas y/o huracanes en Tamaulipas, de los cuales los huracanes "Anita" y "Gilberto" así como la tormenta "Gabrielle" tocaron tierra en las inmediaciones de la zona de anidación. Los dos primeros ocurrieron a finales de agosto 1977 y en septiembre de 1988, respectivamente, mientras que "Gabrielle" en agosto de 1995. Entre estos fenómenos destaca "Gilberto", que alcanzó la categoría 4 con vientos máximos sostenidos superiores a los 250 km /hr.

Cabe mencionar que, aunque el paso de estos fenómenos ocurre hacia el final de la temporada de anidación, dependiendo de la intensidad y cercanía a la zona de anidación pueden modificar la fisiografía de la playa y la textura de los sedimentos

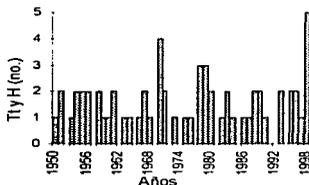


Fig. B.21.- Huracanes (T) y tormentas tropicales (Tt) que tocaron tierra o pasaron cerca del noroccidente del Golfo de México.

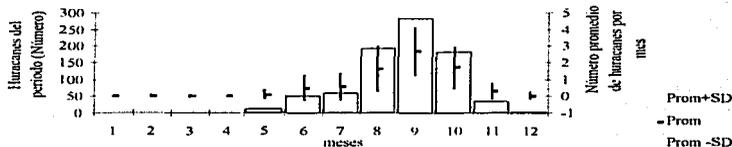


Fig. B.22.- Huracanes registrados en el Golfo de México entre 1871 y 1975. En las barras se presenta el número total de estos eventos y en las líneas el número promedio  $\pm$  la desviación estándar.

## DISCUSIÓN

Los métodos de correlación lineal aplicados a los registros de temperatura y precipitación de las 4 estaciones meteorológicas, y los análisis espectrales de las series de tiempo de esas variables medidas en los extremos Norte y Sur de la zona, muestran que su tendencia fue similar a lo largo de la playa de anidación. Estos resultados permiten concluir que los datos de Soto la Marina son representativos de la variabilidad climática y de las variaciones meteorológicas de la zona de anidación. Sin embargo, los análisis de varianza y de series de tiempo mostraron que en el Norte de la playa la temperatura era ligeramente más elevada que en el Sur. Estas diferencias podrían ser explicadas con dos hipótesis.

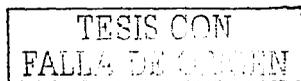
La primera, expuesta en los resultados, se fundamenta en la diversidad de las fuentes de datos y la longitud de las series de tiempo. Los registros de Soto la Marina y Punta Jerez fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA), los de Barra del Tordo por el Departamento de Hidrometeorología (CFE) y los de Rancho Nuevo se tomaron *in situ*, por lo que puede haber diferencias significativas entre ellos, particularmente al comparar los datos del observatorio de Soto la Marina con los de las otras estaciones meteorológicas, donde sólo se realiza una lectura al día. Por otra parte, en las series de tiempo cortas se magnifica el efecto de los valores extremos (Barry y Chorley, 1987), como aparentemente ocurrió con los datos de Barra del Tordo.

La segunda hipótesis plantea la posibilidad de que existan variaciones microclimáticas a lo largo de la playa de anidación. Cabe señalar que toda la región puede incluirse dentro del mismo tipo climático:  $(A)C(w)(e)w''$ , equivalente a semicálido con temperatura media anual superior a los 18°C con lluvias de verano, de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1998). La similitud de la temperatura es consecuencia de la posición geográfica del área de estudio, ubicada en una planicie costera. Las diferencias en latitud, longitud y altitud entre las localidades son despreciables, ya que aún cuando Aldama se encuentra a 130 msnm sus registros son similares al resto de las estaciones meteorológicas.

Las localidades se distinguen por el volumen de precipitación, denotado por los subíndices  $C(w_0)$  y  $C(w_1)$ , que hacen referencia al cociente precipitación/temperatura, que en el primer caso (Soto la Marina y Aldama) es menor a 43.2 y en el segundo se encuentra entre 43.2 y 55 (Barra del Tordo y Punta Jerez).

La precipitación es más abundante hacia el sur y dada su relación inversa con la temperatura, probablemente favorezca las diferencias latitudinales, las cuales, aunque significativas en términos estadísticos, no justifican clasificar a las localidades bajo diferentes regímenes climáticos. También cabe la posibilidad de que el sistema de corrientes marinas propicie la formación de un gradiente latitudinal sobre la playa. El giro anticiclónico semipermanente que se encuentra en el borde de la plataforma y la constancia de los vientos alisios durante el verano, generan un afloramiento moderado entre los paralelos 23 y 24° N y un frente térmico orientado hacia el NE (ver Cap. 1), que disminuyen la temperatura superficial marina costera de 2 a 3 °C, en comparación con el borde de la plataforma (Salmerón, com. pers.)

En las series de tiempo de la temperatura de Soto la Marina se detectaron fluctuaciones periódicas. Las de 11 años estuvieron determinadas por los ciclos de las manchas solares y aunque su amplitud media cuadrática fue equivalente al 8% de la amplitud de los periodos anuales, es probable que influyan en las variaciones climáticas de mediano plazo (Pérez-Enríquez *et al.*, 1989).



En Soto la Marina estos ciclos estuvieron sobrepuestos sobre una tendencia creciente que, sin embargo, no fue significativa. Los intervalos en los que los incrementos han sido significativos pueden acortarse de manera gruesa entre las décadas de los veinte y los cuarenta, y entre los sesenta y finales de los noventa. Este último ha sido perceptible en gran parte del Hemisferio Norte y ha sido asociado con el proceso del Cambio Global (Hidore, 1996; Arntz y Fahrbach, 1996). La información analizada es insuficiente para llegar a una conclusión de esta naturaleza, sin embargo, los resultados sugieren que ese aumento es parte de la fase de ascenso de un ciclo de mediano plazo, similar al detectado entre las décadas de los veinte y cuarenta.

Los ciclos anuales asociados a la ocurrencia del ENSO, se manifestaron en ambos extremos de la zona de anidación. Es factible suponer que el PNA presentó frecuencias similares, dada su estrecha correlación con el ENSO ( $r = 0.7$ ,  $p < 0.05$ ,  $N = 47$ ). No obstante, de acuerdo con la literatura, la influencia de ambos fenómenos debe ser más evidente en el norte del Golfo y decrecer hacia Veracruz y Campeche (Magaña *et al.*, 1997; Sánchez-Santillán, com. pers.). La manifestación de las periodicidades de la NAO en la zona de anidación posiblemente sea menor, porque su efecto es más acusado hacia el este del Golfo, aunque el ciclo de 7 años detectado en los espectros coincide con uno de los periodos descritos por Rogers (1984).

Por otra parte, mientras que los ciclos anuales fueron evidentes en ambos espectros, los semestrales estuvieron más definidos hacia el Sur de la zona de anidación, lo cual no puede ser explicado con la información disponible. Los ciclos diarios, están asociados con el paso de eventos de carácter sinóptico, tales como el paso de frentes (Filonov *et al.*, 1998; Riehl, 1979) y han sido reportados en otras localidades del Golfo de México y del Atlántico Norte (Salas *et al.*, 1992). Los más largos (28 días) podrían mantener un ritmo lunar o solar.

En la estación de Soto la Marina, en los trimestres abril-junio del lapso 1978-1998, correspondientes a la temporada de anidación, la temperatura se incrementó significativamente, en particular en mayo y junio, tal como se detectó en la temperatura máxima y la mínima. En contraste, la tendencia creciente registrada en abril fue poco significativa. De manera paralela, la humedad relativa y la nubosidad decrecieron en ese lapso.

Por otra parte, los periodos en los que se alcanzaron valores extremos y que contribuyeron a disminuir la correlación entre las temperaturas máxima y mínima fueron puntuales y posiblemente estuvieron relacionados con la ocurrencia de eventos de tipo global, puesto que algunos coincidieron con El Niño o la Niña. Sin embargo, aunque esta apreciación es intuitiva porque los coeficientes de correlación fueron poco significativos, algunos autores han mencionado la ocurrencia de temperaturas extremas en invierno y verano en el Sudeste de EE.UU.

A diferencia de Soto la Marina, en Barra del Tordo, la tendencia creciente solo fue significativa en la temperatura mínima. Sin embargo esta disparidad, así como las detectadas en la magnitud de las pendientes están determinadas por la longitud de las series de tiempo, puesto que los registros de ambas estaciones estuvieron correlacionados. La precipitación no mostró alguna tendencia definida dentro del trimestre. La mayoría de las anomalías fueron negativas y sólo en tres años la de abril superó la primera desviación estándar. Es probable que las precipitaciones más abundantes hayan coincidido con algunos Nortes, pero su relación con otros eventos no es clara.

El régimen de vientos esta dominado por los Nortes durante la primavera y por los alisios en el verano, mientras que el cambio entre ambos regimenes ocurre en mayo.



Por otra parte, las variables relacionadas con el ingreso de energía, tales como la insolación, la nubosidad y la temperatura, explicaron la mayor proporción de la varianza en prácticamente todos los ACP. A pesar de que este método sólo permite elaborar hipótesis acerca de las relaciones entre los elementos de un sistema y la relevancia de las variables (de la Cruz, com. pers.), es posible suponer que la temperatura es un indicador adecuado de las variaciones meteorológicas y de las variabilidad climática en la región durante el trimestre abril-junio.

Aunque los grupos de variables con mayor peso en los factores fueron más o menos constantes entre los años, hubo cambios en los signos de los coeficientes de correlación de las variables con el factor.

La importancia de la temperatura dentro del sistema y su elevada correlación con otras variables, tales como la humedad relativa y la tensión de vapor, permite suponer que éstas últimas presentan ciclos similares a los de la temperatura, aunque en fases diferentes dado el signo negativo de los coeficientes.

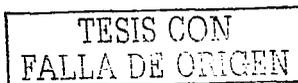
Las amplitudes medias cuadráticas y los coeficientes de determinación sugieren que la repercusión de los eventos de gran escala geográfica en la zona de anidación es mínima. El retraso del efecto del ENSO es de aproximadamente 5 meses, mientras que el PNA aparentemente afecta de inmediato.

La repercusión de la NAO fue menos evidente porque su área de mayor influencia abarca el este del Golfo y el sudeste de Estados Unidos; sin embargo, cuando coincide su fase positiva con la del ENSO se amortigua el efecto de éste último (Rogers, 1984), tal como aparentemente ocurrió durante el Niño 1991-1992, cuando su señal estuvo pobremente representada en comparación con el evento de 1982-1983 (Gutiérrez de Velasco, 1996).

Entre 1977 y 1995 dos huracanes y una tormenta tropical tocaron tierra en las inmediaciones de la zona de anidación. Entre estos fenómenos destaca "Gilberto", que alcanzó la categoría 4. Cabe mencionar que aunque el paso de estos fenómenos ocurre hacia el final de la temporada de anidación, pueden modificar la fisiografía de la playa y la textura de los sedimentos.

### CONCLUSIONES

1. La variabilidad meteorológica y las variaciones climáticas en la zona de anidación pueden ser descritas a partir de la información de Soto la Marina por la elevada correlación existente entre los registros de temperatura.
2. Las diferencias significativas detectadas en la temperatura y la precipitación entre las estaciones, pueden ser derivadas de variaciones en los métodos de registro y procesamiento de datos o reflejar la existencia de microclimas. En este último caso habría un gradiente positivo de temperatura y uno negativo de precipitación, del Sur hacia el Norte.
3. La temperatura se ha incrementado desde 1927, pero la tendencia fue poco significativa, en contraste con la registrada entre el segundo lustro de la década de los setentas y 1998.
4. La temperatura y la precipitación presentaron ciclos con periodos variables entre 3 días y 11 años. Los ciclos anuales y los correspondientes al ENSO se detectaron en ambos extremos de la playa de anidación.



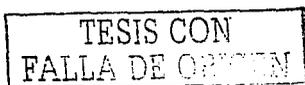
5. Los ciclos diarios se presentaron en periodos variables entre 3 y 28 días. Es probable que sean producto del paso de eventos de carácter sinóptico.
6. En el trimestre abril-junio del lapso 1978-1998, la temperatura se incrementó significativamente, particularmente en mayo y junio. De manera paralela, decreció la nubosidad, la precipitación y la humedad relativa.
7. En el trimestre abril-junio se presenta el cambio de régimen de viento de invierno a verano, en el primero dominaron los Nortes y los vientos alisios en el segundo. Las velocidades más grandes se alcanzaron en abril y estuvieron asociadas con los vientos del Norte y con los del Sudeste.
8. Las variables relacionadas con el ingreso de energía solar al sistema fueron las que tuvieron el mayor peso en el trimestre abril-junio. Por lo que se considera que la temperatura es un indicador adecuado de la variabilidad climática de ese periodo.
9. El efecto del ENSO y el PNA fue mayor que el de la NAO. La proporción de la varianza explicada fue menor al 10%. El retraso en el efecto del ENSO fue de aproximadamente 5 meses, mientras que el del PNA fue de 0. La influencia de la NAO fue imperceptible.
10. El número de huracanes que pasan sobre el noroccidente del Golfo de México ha permanecido constante desde los cincuentas. Sólo en algunos años se ha incrementado significativamente, como 1998.

#### LITERATURA CITADA

- Acosta, G. A. 1988. El Niño: sus efectos sobre el norte de México. Ingeniería hidráulica en México. Enero-abril: 13-29
- Arntz, W. F. y E. Fahrbach. 1996. El Niño, experimento climático de la naturaleza. Ciencias Físicas y efectos biológicos. Fondo de Cultura Económica. 312 pp.
- Arroyo, J., S. Serra y A. Estrada. 1976. Atlas de Trayectorias de ciclones tropicales. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM. s/p.
- Barry, R. G. y R. J., Chorley. 1987. Atmosphere, weather and climate. 5a. ed. Routledge. 441 pp.
- Bendat, J. S. y A. G. Piersol. 1967. Measurement and analysis of random data. N. Y. 332 pp.
- Bradley, R. S., H. F. Diaz, G. N. Kiladis y J. K. Escheid. 1987. ENSO signal in continental temperature and precipitation records. Nature. 32(11):497-501
- Casas-Andreu, G. 1978. Análisis de la anidación de las tortugas marinas del género *Lepidochelys* en México. Anales Centro de Ciencias del Mar y Limnología 5(1):141-157
- Comisión Federal de Electricidad. 1993. Informe global de estudios oceanográficos para el P.N. El Tordo Estado de Tamaulipas. Documento Interno. Gerencia de Ingeniería Civil. Subgerencia de Estudios Cíviles. Departamento de Oceanografía. Residencia zona Golfo. 27 pp
- Diamond, A. 1976. Breeding biology and conservation of hawksbill turtles. *Eretmochelys imbricata* L., on Cousin Island, Seychelles. Biol. Conserv. 9(3):199-215

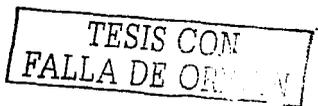


- Dodd, C. K. 1988. Synopsis of the biological data on the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* (Linnaeus 1758). Biological report 88 (14) FAO Synopsis NMFS-149. 110 pp.
- Eibl-Eibesfeldt, I. 1974. Etología. Introducción al estudio comparado del comportamiento. Omega. 643 pp.
- Elliot, B. A. 1979. Anticyclonic rings and the energetics of the circulation of the Gulf of Mexico. Tesis Doctoral. Texas A& M University. 188 pp.
- Filonov, A. E., I. E. Tereshchenko y C. O. Monzón 1998. On the oscillations of the hydrometeorological characteristic in the region of Chapala Lake in time frames of days to tenths of years. Geofísica Internacional. 37(4):293-307.
- Frazier, J. 1979. Niche separation in Indian ocean turtles. Am Zool. 19(3): 955
- García, E. 1978. Apuntes de climatología. Larios. México. 154 pp.
- García, E. 1998. Carta de climas. Carta Nuevo León, escala 1:1 000 000
- Garnett, M. 1979. *Eretmochelys* breeding biology in the Seychelles. Am Zool. 19(3):954
- Gershunov, A. y T. P. Barnett 1998. ENSO Influence on intra-seasonal extreme rainfall and temperature frequencies in the contiguous United States: Observations and model results. Journal of Climate 11 1575-1586
- Glantz, M. H. R., W. Katz y N. Nicholls 1991. Teleconnections linking worldwide climate anomalies. Scientific basis and societal impact. Cambridge University Press 535 pp
- Gray, W. H. 1984. Atlantic seasonal hurricane frequency. Part I: El Niño and 30 mb Quasi-Biennial oscillation influences. Monthly Weather Review 112:1649-1668
- Gutiérrez de Velasco, G. 1996. Wind forcing and circulation in the Gulf of Mexico. Tesis de Doctorado. Scripps Institution of Oceanography. University of California, San Diego, Cal. USA, 124 pp.
- Gutiérrez de Velasco, G. y C. Winant. 1996. Seasonal patterns of wind stress and wind stress curl over the Gulf of Mexico. Journal of Geophysical Research 101(C8):18127-18140
- Hair, J. F., R. E. Anderson, R. L. Tatham y W. C. Black. 1995. Multivariate data analysis. With readings. 4ª ed. Prentice Hall. Nueva Jersey 745 pp
- Hidore, J. 1996. Global Environmental Change. Its nature and impact. Prentice Hall, USA. 263 pp.
- Horel, J. D. y J. M. Wallace. 1981. Planetary -scale phenomena associated with the Southern Oscillation. Monthly Weather Review 109 813-825
- Jenkins, G. M. y D. G. Watts. 1969. Spectral analysis and its Applications. Holden-Day. San Francisco. 512 pp.
- Konyayev, K. V. 1990. Spectral Analysis of Physical Oceanographic Data. A.A. Balkema. Rotterdam. 200 pp.
- Kumar, A. y M. P. Hoerling. 1997. Interpretation and implications of observed inter-El Niño variability. Journal of Climate, 10, 83-91



- Limpus, C. J. y N. Nicholls. 1988. The southern Oscillation regulates the annual numbers of green turtles (*Chelonia mydas*) breeding around Northern Australia. Aust. J. Wildl. Res. 15:157-161
- Limpus, C. J. y N. Nicholls. 1990. Progress report on the study of the interaction of the El Niño Southern Oscillation on annual *Chelonia mydas* numbers at the southern Great Barrier Reef Rookeries. In: J. Russell (Ed.). Proc. of the Australian Marine Turtle Conservation Workshop. Queensland Department of Environment and Heritage and Australian Nature Conservation Agency. 73-78
- Livezey, R., M. Masutani, A. Leetma, H. Rui, M. Ji y A. Kumar. 1997. Teleconnections responses of the PNA atmosphere to large central equatorial Pacific SST anomalies. Journal of Climate 10:1787-1820
- Magaña, V. O., J. L. Pérez, C. Conde y S. Medina. 1997. El fenómeno del Niño y la Oscilación del Sur (ENOS) y sus impactos en México. Informe interno. Instituto de Ecología/SEMARNAP. 21 pp
- Mann, K. H. y J. R. N. Lazier. 1996. Dynamics of marine ecosystems. Biological-physical interactions in the oceans, 2ª. ed. Blackwell Scientific Inc. 394 pp.
- Márquez, R. 1994. Tortuga lora. Sinopsis de datos biológicos. FAO Sinopsis sobre la Pesca no. 152, INP/S152, SAST-Tortuga Lora 5.31(07) 016.02 141 pp.
- Metcalfe, S.E. 1987. Historical data climatic change in Mexico. Review Geogr. Journal, 153(2) 211-222
- Montroy, D. L., M. Richman y P. J. Lamb. 1998. Observed non-linearities of monthly teleconnections between tropical Pacific sea surface temperature anomalies and central and eastern North American precipitation. Journal of Climate 11:1812-1835
- Mosiño, P. y E. García. 1973. The climate of Mexico. In: The climates of North America. Elsevier Scientific Publishing Company- Amsterdam pp 345-404
- Mosiño, P. y T. Morales. 1988. Los ciclones tropicales, el Niño y las lluvias en Tacubaya. D.F. Geofísica Internacional, 27: 61-82.
- Nowlin, W. D. Jr. y C. A. Parker. 1974. Effects of a cold-air outbreak on shelf waters of the Gulf of Mexico. Journal of Physical Oceanography, 4: 467-486
- Pérez-Enriquez, B. Mendoza and M. Alvarez-Madriral. 1989. Solar activity and El Niño: The auroral connection. El Nuevevo Cimiento 12C(2)223-230
- Philander, S.G. 1990. El Niño, la Niña and southern oscillation. Intern. Geophys. Series. 46, 293
- Pica, G. Y. y R. Pinoda L. 1991. Oceanografía Física del Golfo de México y Mar Caribe Mexicano. In: G. de la Lanza (Ed.). Oceanografía de mares mexicanos. AGT Editor, México. 569 pp.
- Pla, E. L. 1986. Análisis Multivariado: Método de componentes principales. Serie de Matemática. Monografía no. 27. OEA. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico 89pp

- Rasmusson, E. M. y T. H. Carpenter. 1982. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. Monthly Weather Review. 110:354-384
- Riehl, H. 1979. Climate and Weather in the Tropics. Academic Press. Londres. 611 pp.
- Rogers, J. 1984. The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere. Monthly Weather Review 112: 1999-2015
- Ropelewski, C. F. y M. S. Halpert. 1986. North American precipitation and temperature patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation (ENSO). Monthly Weather Review 114:2352-2362
- Ropelewski, C. F. y M. S. Halpert. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. Monthly Weather Review 115:1606-1626
- Salas de L., D.A., M.A. Monreal y J. Aldeco. 1992. Periodos característicos en las oscilaciones de parámetros meteorológicos en Cayo Arcas, México. Atmósfera. 5:193-205
- Sánchez- Santillán, N. 1999. El Cambio Global en Golfo y Caribe Mexicano y su influencia en doce pesquerías de importancia comercial. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. UNAM. 450 pp.
- Sánchez- Santillán, N y G. de la Lanza. 1995. La climatología de ciclones en México y el ciclón Gilberto. Serie. Los Académicos. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. 52 pp.
- StatSoft, Inc. 1995. STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK. StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK, 74104-4442, (918) 749-1119, fax: (918) 749-2217, e-mail: info@statsoft.com, WEB: http://www.statsoft.com
- Ting, M., M. P. Hoerling, T. Xu y A. Kumar. 1996. Northern Hemisphere Teleconnection patterns during extreme phases of zonal-mean circulation. Journal of Climate 9:2614-2633
- Ting, M. y H. Wang. 1997. Summertime US precipitation variability and its relation to Pacific sea surface temperature. Journal of Climate. 10: 1853-1873
- Walsh, J. y B. Richman. 1981. Seasonality in the associations between surface temperatures over the United States and the North Pacific Ocean. Monthly Weather Review 109: 767-783
- Wallace, J. M. y D. S. Gutzler. 1981. Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere winter. Monthly Weather Review 109: 784-811
- Wang, W., W. D. Nowlin, Jr. y R. O. Reid. 1998. Analyzed surface meteorological fields over the northwestern Gulf of Mexico for 1992-1994; monthly and seasonal patterns. Weather Review 126(11): 2864-2883
- White, M. y M. W. Downton. 1991. The shrimp fishery in the Gulf of Mexico: relation to climatic variability and global atmospheric patterns. In: M. H. Glantz, R. W. Katz y N. Nicholls (Eds). Teleconnections linking worldwide climate anomalies. Scientific basis and societal impact. Cambridge University Press. U. K. PP459-491
- Wolter, K. y M. X. Timlin. 1998. Measuring the strength of ENSO-how does 1997/98 rank?. Weather, 53,315-324



Wolter, K. 1987. The Southern Oscillation in surface circulation and climate over the tropical Atlantic, Eastern Pacific and Indian Ocean as captured by cluster analysis. J. Climate Appl. Meteor. 26, 540-558

Zar, J. H., 1974. Biostatistical Analysis. Prentice Hall. 620 pp.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

