



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México



Relación de los derroteros de las tortugas marinas
Chelonia mydas y *Caretta caretta* con la concentración
de Clorofila *a* y la Temperatura Superficial del Mar
obtenidas con imágenes satelitales

T E S I S

que para obtener el grado académico de

Maestra en Ciencias
(Oceanografía Física)

p r e s e n t a

ABIGAIL URIBE MARTÍNEZ

Director de Tesis: Dr. Raúl Aguirre Gómez
Comité tutorial: Dr. Luis Medrano González
Dr. Alberto Abreu Grobois
Dr. Victor M. Mendoza Castro
Dr. Jeffrey Seminoff

Ciudad Universitaria, México, D.F. 2006.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme abierto sus puertas para poder decir con orgullo: “egresada de un posgrado de la UNAM”.

Al posgrado en Ciencias del Mar y Limnología por haberme confiado un lugar a pesar de los inconvenientes y por haberme dado todo el apoyo necesario para terminar.

Al Dr. Raúl Aguirre por haber creído en mí y en mis locas ideas, por haberme defendido y apoyado aun con el viento en contra; por haberme dado la oportunidad aun sin conocerme.

A mis profesores Dr. David Salas, Dr. Carranza, Dr. Merino, Dr. Alcocer por todo lo que aprendí en sus clases. De igual forma a mis asesores Dr. Abreu, Dr. Medrano, Dr. Mendoza y Dr. Seminoff por los comentarios a mi trabajo, por su compromiso, por la paciencia que me tuvieron durante estos años.

Al Dr. Seminoff y Dr. Nichols por haberme confiado sus datos, por el apoyo para entrar al estudio de las tortugas marinas.

A mi familia, mi eterna compañía, mi apoyo incondicional ¿Cómo concebir este trabajo sin ustedes? Ma ¿Podrías imaginar un poco lo feliz que me siento de tenerte a mi lado? Eres mi dadora de vida pero sobre todo mi amiga. Pa, a veces más cerca, a veces ausente, pero se que siempre al pendiente, gracias por la educación, por el hogar, por la preocupación, por el estar ahí. Mely y Tito, hermanitotes... latosos, destrampados, siempre un reto para una hermana mayor, gracias por confiar en mi y valorar lo que hasta ahora he hecho.

A mi gran familia: Mis Abuelos, Ofe, Luz, Valente ejemplos de lucha. A la Tía Concha que nunca nos has abandonado, Lucy mi ejemplo desde muchos ayerés; A los tíos Andrés, Antony, Pepe, Pech, Polo (†) haciendo, construyendo y dejando caminos abiertos.



A mis amigos ellos que existían desde antes de pisar el posgrado: Yasmín, Pepe, Nadia (mujercita), Julio, David, Rene, porque me enseñaron siempre tanto de ustedes y de mí, me echaron porras y hasta llegaron a desaparecer, dándome momentos de alucinar y momentos de lamentar, momentos de reír y de pelear, momentos de reflexión y acelere, siempre un aprendizaje... la banda chida.

A Chassin por ser la primera luz que me alumbro este andar, quien me dijo que existían unas abuelas y que ellas nos podrían enseñar a amar, solo era necesario abrir el corazón y porque estuviste ahí para enseñarme a escuchar y a sentir.

A mis compañeros de clases y ahora mis amigos: Manuel, un cariño inmenso, un apoyo invaluable, me salvaste de muchas y me has enseñado como se lucha; Juan, Gonzalo, Andrea un gusto tenerlos conmigo, lejanos pero presentes, siempre un recuerdo grato.

A los del IG Rene, Olivia, Efra, Molotoche, Alma, Pepe, Miguel, Berna, agradezco todo lo que me enseñaron de SIG y PR, y lo mejor, tal vez sin darse cuenta estuvieron en momentos importantes para recordarme siempre quien soy ¡Vaya lecciones de vida!

A Rodolfufus mi compañero, mi amigo, mi enemigo, mi maestro, mi arriero, mi cocinero, mi jefe, mi lata, mi amor... ¿Qué no has sido Rodo para mi en estos 4 años? Eres el gemelo de esta trabajo, naciste de una loca idea, de una ilusión, encontramos el camino y lo perdimos, nos entregamos, nos odiamos y nos abandonamos y ahora podemos estar orgullosos del lugar en donde estamos... culminación de la tesis y yo queriéndote como nunca: el final del principio de lo que sigue.

Gracias Nacho, Pao, Rulas, Ana, Nachin, Yan, Tepo, por los buenos momentos que debí dedicar a la tesis, pero que me divertí y crecí como persona con ustedes. Les agradezco el cariño que me demostraron desde el inicio de nuestra amistad y la presencia en la era posgrado.

A todos los que han estado y ya no están, sus palabras siempre han sido un aliciente y un reto para no caer.



Contenido

Agradecimientos	i
Resumen	iii
Contenido	iv
<u>CAPÍTULO 1. Introducción</u>	1
1.1) Antecedentes	1
1.1.1) Telemetría satelital	1
1.1.2) Aportes de la oceanografía al estudio del hábitat de las tortugas marinas	2
1.2) Definición del Problema	7
1.3) Justificación del Estudio	7
1.4) Planteamiento de Objetivos	8
<u>CAPÍTULO 2. Marco Teórico</u>	10
2.1) Distribución, Biología y Riesgos de las Tortugas Marinas	10
• Tortuga Negra (<i>C. mydas</i> del Este del Pacífico)	10
• Tortuga Caguama (<i>Caretta caretta</i>)	10
2.1.1) Hábitat y Distribución	10
2.1.2) Alimentación	13
2.1.3) Migración	17
2.1.4) La temperatura del mar en la biología de las Tortugas Marinas	20
2.1.5) Asociación de factores físicos, biológicos y recursos marinos	23
a) Estructuras Oceánicas	23
b) Clorofila, temperatura y recursos bióticos	25
c) Riesgos: Referencia a Captura Incidental	26
d) Zonas de riesgo por pesquerías	30
2.2) Características Oceanográficas del Área de Estudio	31
2.2.1) Golfo de California	31



2.2.2) Pacífico central mexicano	33
2.3) Teoría de la Oceanografía Satelital	35
2.3.1) Principios de la Percepción Remota	35
2.3.2) Temperatura Superficial del Mar	40
2.3.3) Color del Mar y Clorofila <i>a</i>	42
<u>CAPÍTULO 3. Materiales y Métodos</u>	46
3.1) Materiales	46
3.1.1) Información de los derroteros	46
3.1.2) Imágenes de Temperatura Superficial del Mar	49
3.1.3) Imágenes de Clorofila	49
3.1.4) Definición de Variables	50
• Variables Independientes	50
• Variables Dependientes	50
3.2) Métodos	51
3.2.1) Reconstrucción de las trayectorias	51
3.2.2) Procesamiento de Imágenes de TSM	54
3.2.3) Procesamiento de Imágenes Clorofila	58
3.2.4) Obtención de los valores de Distancia a la Costa y Distancia a la Línea Base	61
3.2.5) Batimetría	62
3.2.6) Estandarización de Bases de Datos	63
3.2.7) Análisis de Datos	64
<u>CAPÍTULO 4. Análisis de Resultados</u>	67
4.1) Resumen de Resultados Obtenidos	67
4.2) Estadísticas Básicas	68
4.2.1) <i>Chelonia mydas</i> en Migración	68
4.2.2) <i>Caretta caretta</i> en Zona de alimentación	73
4.2.3) Migración Transpacífica de <i>Caretta caretta</i>	76
4.2.4) Distancia a la Línea Base y distancia a la Costa	78



4.3) Relaciones Multivariadas	79
4.4) Respuesta Velocidad y Desviación a las Condiciones Oceanográficas	84
4.5) Comparación de Condiciones Oceanográficas en Presencia y Ausencia de Tortugas	86
4.6) Análisis de Preferencia por Condiciones Oceanográficas	89
<u>CAPÍTULO 5. Discusión y Conclusiones</u>	94
5.1) Discusión	94
5.2) Conclusiones	98
5.3) Recomendaciones	100
Bibliografía	102
Anexos	110
A. Imágenes de Clorofila en algunas posiciones de tortugas.	110
B. Imágenes de TSM para tortugas de distinta especie fase.	111



Resumen

Caretta caretta y *Chelonia mydas* del Pacífico Este son tortugas marinas que utilizan las costas de Baja California como áreas de desarrollo y alimentación. Cuando *C. caretta* alcanza la madurez, regresa al Pacífico Occidental en una migración de más de 20 000 Km. *C. mydas* del Pacífico se desplaza 1 500 Km a las costas de Michoacán, principalmente en otoño para reproducirse.

Con el fin de explorar las condiciones oceanográficas presentes a lo largo de los seguimientos satelitales de diez tortugas marinas, se analizó información de temperatura superficial del mar (TSM) y clorofila a obtenidas mediante imágenes de satélites, así como la profundidad. Los seguimientos corresponden a tres *C. mydas* en migración pre-anidatoria, Tres de *C. caretta* en sus migraciones transpacíficas y finalmente cuatro tortugas *C. caretta* juveniles y sub-adultas en una zona de alimentación de la costa Occidental de Baja California Sur. La información de TSM se obtuvo de imágenes diarias AVHRR y la clorofila a se obtuvo de imágenes provenientes de los sensores OCTS y SeaWiFS. También se utilizó un modelo batimétrico para la obtención de profundidad del piso oceánico. Se reconstruyeron las trayectorias y se les asignaron valores de rectitud, velocidad y distancia a la costa.

En este trabajo se encontró que *C. caretta* muestran un uso de temperaturas determinado, comportamiento que es más evidente en migración ($23^{\circ}\text{C} \pm 1.87^{\circ}\text{C}$). Se encontró que *C. caretta* en migración, no se desplaza siguiendo la ruta más corta. *C. mydas* no define temperaturas de uso común, pues se encuentran en agua con temperatura desde 18 hasta 26°C , siendo más dependientes de las condiciones térmicas locales. Se observa un uso discriminado de ciertas regiones encontrándose principalmente en zonas con concentraciones de clorofila más altas respecto de la disponibilidad de la zona. La profundidad del piso oceánico sólo implica diferencia para *C. mydas* pues realizan su migración sobre la plataforma continental, sin mostrar ninguna preferencia por profundidades menores a 50 m. *C. caretta* en la zona de alimentación de Baja California se concentra en regiones con estructuras oceánicas.



CAPÍTULO 1. Introducción

1.1) Antecedentes

1.1.1) Telemetría satelital

En términos generales, se denomina telemetría satelital a las técnicas diseñadas para monitorear de forma remota, organismos a los que se les haya colocado un transmisor satelital. Los transmisores emiten una señal cada cierto intervalo de tiempo, la que será recibida por una serie de satélites para transformarla en un dato de posición en tierra. Esto permite ubicar una posición del organismo con el transmisor con cierto grado de certidumbre. Desde principios de los años 1980 la telemetría satelital ha permitido el estudio del comportamiento de las tortugas en su hábitat natural incluyendo rutas de migración (Resendiz *et al.* 1998), tiempo de inmersión (Hays *et al.* 2001a; Godley *et al.* 2003a), estudios de intervalo de influencia (Seminoff *et al.* 2002b), batimetría (Cheng, 2000), etc. A lo largo de la última década se han incrementado notablemente los avances en las tecnologías de telemetría, lo que ha inyectado nueva vida al estudio de los movimientos de las tortugas y otros organismos marinos al permitir la reconstrucción de las trayectorias seguidas por un individuo. Las tortugas marinas se han rastreado en sus migraciones a lo largo del mundo *e.g.*: Brasil: Luschi *et al.* 1998, México: Nichols *et al.* 2000b. Estos trabajos han despertado el interés acerca de los indicadores que puedan describir los corredores migratorios. Algunas hipótesis plantean que estos pueden estar dados por estructuras oceanográficas específicas. Morreale *et al.* (1996) plantean que una posibilidad para evaluar si los corredores migratorios están determinados por estructuras oceanográficas, como las ya conocidas regiones frontales indicadoras de alta productividad, es examinar los seguimientos en relación con imágenes provenientes de sensores remotos.



1.1.2) Aportes de oceanografía al estudio del hábitat de las tortugas marinas

Por otro lado en este trabajo se le llama percepción o sensoría remota a las mediciones de señal electromagnética registradas en un imagen. El estudio del océano mediante el uso de sensores remotos ha demostrado ser una herramienta valiosa pues permiten hacer mediciones físicas y biológicas del océano en escalas temporales y espaciales que con otros métodos resultarían imposibles. Las técnicas de sensoría remota tales como el análisis de patrones de temperatura y color del océano permiten una mejor comprensión de procesos biológicos y físicos que controlan el ambiente marino como los casos de surgencias, giros y frentes.

Es importante el estudio de las zonas de florecimientos fitoplanctónicos, pues la producción primaria implica un incremento de zooplancton y como consecuencia aumento de concentraciones de depredadores que toman ventaja de la abundancia de presas (Olson y Backus, 1985) siendo estos lugares potenciales para encontrar abundancias de organismos mayores; entre ellos las tortugas marinas.

En los últimos 10 años se han realizado investigaciones encaminadas a entender patrones oceanográficos utilizando imágenes de satélite para el estudio del hábitat de las tortugas marinas, en particular. En conjunto con la telemetría satelital, las imágenes satelitales prometen hacer grandes aportes al conocimiento del hábitat de tortugas marinas, logrando combinar datos físicos y biológicos, determinando cómo ciertas condiciones crean un hábitat propicio con oportunidad de forrajeo para las tortugas. Actualmente las tortugas marinas que han sido rastreadas satelitalmente se cuentan por miles, pues sólo hasta el 2003 aproximadamente 100 tortugas *Caretta caretta* hembras en su período post anidatorio habían sido rastreadas a lo largo del mundo (Schroeder *et al.* 2003). Esta información se puede enriquecer con el uso de imágenes satelitales, las cuales han sido de fácil acceso durante los últimos años y han ayudado a la observación directa de variables ambientales a lo largo de todos los mares del mundo, permitiendo estudios imposibles de lograr antaño.



Desde 1994 se han instrumentado decenas de tortugas para determinar patrones de movimiento y distribución en relación a características ambientales observadas desde satélites: altimetría para corrientes, pigmentos para establecer zonas de productividad y temperatura superficial del mar (TSM) (Bolten, 2003a). De estos estudios se ha obtenido evidencia de la asociación de tortugas caguamas con estructuras oceánicas, en algunos casos identificadas con imágenes satelitales de clorofila y TSM. Riewald *et al.* (2000) proponen la hipótesis de que las tortugas utilizan una estrategia de “flotar y esperar”, lo que las pone en contacto con regiones potencialmente productivas y así minimizan el gasto de energía. Estos autores encontraron una relación positiva entre el tipo de hábitat y su conducta de buceo y movilidad.

Coles y Musick (2000) concluyen que las tortugas *Chelonia mydas* en Carolina del Norte, no se distribuyen aleatoriamente, si no que se encuentran en intervalos selectos de temperatura y que son estacionalmente variables; en verano se ubican en un intervalo de temperaturas mayores que el máximo usado en invierno, aunque exista agua más fría disponible. Para identificar los límites térmicos preferidos por las caguamas los autores usaron promedios espaciales de TSM y la abundancia y distribución de tortugas a lo largo de 10 líneas de vuelos aéreos. Encontraron que la TSM registrada en la ubicación de la tortuga estaba entre 13.3°C y 28°C, siendo que la disponibilidad en el área circunvecina estaba entre 4.9-32.3°C.

A lo largo de varios estudios, Polovina y otros (Polovina *et al.* 2000; 2001; 2004) han combinado datos físicos y biológicos de fuentes satelitales –imágenes y rastreos– aportando más información de cómo las zonas de convergencia crean oportunidades de alimentación. Polovina *et al.* (2000) analizaron datos ambientales de TSM, clorofila superficial y corriente ligados a las posiciones de nueve tortugas caguamas en el Norte del Océano Pacífico. De la interpolación espacial entre la latitud de la posición de las tortugas y la latitud de la isoterma concluyen que las tortugas se movieron en relación a las isotermas. Sus resultados muestran cómo las caguamas en el Pacífico Central ocurren a lo largo de los frentes térmicos específicos moviéndose de Norte a Sur para permanecer en ellos.



Por el contrario, Hays *et al.* (2001b) rastrearon en 1997 cinco tortugas *Chelonia mydas* en su migración entre la Isla Ascensión en el Atlántico y Brasil para relacionar las rutas con promedios semanales de la TSM derivadas de imágenes del sensor AVHRR, sin encontrar relación alguna; concluyen que para esa población la temperatura *per se* no es un factor de influencia en la migración. Sin embargo, indican que la relación entre movimientos y oceanografía puede existir al momento de alimentarse.

En México, las investigaciones con telemetría satelital se han realizado principalmente por Nichols *et al.* (2000b, 2001, 2002) a través de instituciones nacionales (Instituto Nacional de Pesca y SEMARNAT) e internacionales (Ocean Blue, Wild Coast) durante una década aproximadamente. De estos proyectos se han derivado rastreos de varias tortugas en sus migraciones y derivas en zonas de alimentación de los cuales se han obtenido productos de velocidad, intervalo de hábitat y la geología de la zona (batimetría y continente). Hasta la fecha no se han publicado resultados con estos derroteros que evalúen variables del medio como temperatura o producción biológica.

Tales estudios de telemetría en México han sido realizados principalmente en Baja California, donde confluyen cinco especies de tortugas marinas que usan estas costas como área de alimentación ya que por sus características oceanográficas, es una región con una producción biológica considerable. En consecuencia, el Golfo de California y la costa pacífica de Baja California son las zonas pesqueras más explotadas del país lo cual representa una amenaza constante de captura incidental para las tortugas que allí habitan. De la misma forma, el área del Golfo de California y la costa occidental de México, por donde las tortugas negras realizan los desplazamientos migratorios, presenta características oceanográficas que reflejan la influencia de corrientes de gran escala, variaciones de temperatura latitudinales muy marcadas y presencia constante de estructuras oceánicas tales como giros, frentes y surgencias que dan como resultado elevada actividad biológica y por lo tanto, la presencia de especies marinas tanto comerciales, como protegidas o en peligro.



Varios autores han notado la importancia potencial de las zonas de convergencia oceánica y los sistemas de giros en la distribución y concentración local de caguamas (e.g. Richardson y McGillivray, 1991; Witherington, 1994) ya sea por avistamientos o capturas incidentales en pesquerías. Con el crecimiento de la tecnología satelital se ha incrementado el estudio de las relaciones físicas y biológicas con el desplazamiento de tortugas marinas, acumulando evidencia acerca de cómo las poblaciones nororientales de los océanos Atlántico, Indico y Pacífico utilizan áreas pelágicas como hábitat de desarrollo, alimentación y migración a lo largo de zonas de frentes, giros y surgencias de meso y macro escala (Polovina *et al.* 2000, 2001; Riewald *et al.* 2000; Witherington, 2002). Los residuos encontrados de *V. vellela*, *Janthina sp* y *Planes cyaneus* mediante análisis estomacales en *Caretta caretta* (Polovina *et al.* 2000; Polovina *et al.* 2004), en el Pacífico Norte Central indican que estas tortugas pueden estar en las vecindades de los frentes convergentes, si sus presas se establecen ahí como resultado del proceso de convergencia y a su vez consumiendo el alimento asociado con en el frente. Por medio de imágenes SeaWiFS, Polovina *et al.* (2001) realizaron una comparación entre la isolinia de $0.2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ de clorofila con la distribución mensual del esfuerzo pesquero de atún aleta amarilla, demostrando que la mayor pesquería se concentró a lo largo del Frente de Clorofila de la Zona de Transición (FCZT) y sugieren que tal frente puede ser usado por esta especie como ruta migratoria. En este reporte también se observó el desplazamiento de seis tortugas caguamas mientras migraban hacia el Oeste mostrando un movimiento latitudinal coincidente con la posición del FCZT, sugiriendo que los cambios estacionales del frente afectan la ruta tomada por las tortugas. Por su parte los neonatos se dispersan en el océano abierto y pueden asociarse con sargazo y otros materiales en áreas de hundimiento. Witherington (2002) calculó una densidad de 9 000 neonatos en líneas de hundimiento por milla náutica, basado en observaciones directas de tortugas obteniendo una tasa de 12 tortugas por hora a una velocidad de 2.5 nudos en aproximadamente 1 milla náutica cuadrada.

Luschi *et al.* (2003a) concluyen en su análisis que las estructuras oceánicas son factores clave en la determinación de los patrones de desplazamiento de tortugas laúd



(*Dermochelys coriacea*) resultando en diferentes cursos con movimientos dirigidos o en circuitos dentro de áreas delimitadas. Este estudio muestra que estas tortugas siguen muy de cerca la circulación de mesoescala por periodos prolongados planteando la posibilidad de que este recorrido les permita a las tortugas explotar recursos macroplañctónicos con un mínimo de esfuerzo. En este estudio, un par de tortugas se mantienen dentro de giros por meses mientras que otra usó el flujo de la corriente para alcanzar rápidamente áreas biológicamente ricas. Los autores concluyen que el divagar de la tortuga laúd es consecuencia de su preferencia por sistemas de corrientes oceánicas así como áreas de alimentación. Polovina *et al.* (2004) observaron el derrotero de una tortuga *Caretta caretta* con una trayectoria contra corriente a lo largo del límite de la extensión de la Corriente de Kuroshio (KEC) manteniéndose durante seis meses en la frontera de meandros y giros. Aquí se reconoce un cambio estacional de la distribución de tortugas *Caretta caretta* posterior al movimiento del FCZT el sitio más usado por las tortugas, lugar especialmente productivo que proporciona la base para una amplia cadena alimenticia. Se observó cómo en marzo las tortugas se localizaban sobre el FCZT a los 153° W 35° N. Durante abril y mayo las tortugas viajaban hacia el Oeste a lo largo del FCZT. En junio, el FCZT se movió al Norte mientras que las tortugas continuaban su movimiento al Oeste. En julio de ese año, el frente de clorofila se movió rápidamente a los 40°N y las tortugas viajaron directamente hacia allá junto con este cambio. Las estructuras de FCZT mostraron enriquecimientos de clorofila y probablemente en consecuencia, concentraciones importantes de presas para las caguamas.

Se puede especular que sin las estructuras formadas en mar abierto como los frentes antes descritos, para las tortugas y demás especies pelágicas sería muy difícil alimentarse en el océano. Como ocurre en otros lugares, en las costas de Baja California se producen surgencias costeras donde, al emerger, las masas de agua sub-superficiales provocan bajas temperaturas en la superficie y altas concentraciones de nutrientes contribuyendo a crear ecosistemas muy productivos.



1.2) Definición del Problema

Las tortugas marinas pasan el 99.9% de su vida dentro del mar. Sin embargo, el conocimiento que se tiene de ellas y de su hábitat se da principalmente durante las ocasiones que se encuentran en tierra, pues el conocimiento *in situ* del medio marino resulta caro y complicado por lo que es casi imposible obtenerlo. Para llegar a comprender el hábitat de las tortugas marinas ya sea per se o con fines de protección, es indispensable reconocer qué condiciones oceanográficas cruzan estos organismos a lo largo de sus distintos estadios.

Una vez conocida la ubicación geográfica de determinados individuos, es factible obtener información de las condiciones físicas y biológicas para dichos sitios mediante el uso de imágenes satelitales y sistemas de información geográfica. Entonces se pueden plantear preguntas como: ¿Cuales son las condiciones oceanográficas de la Península de Baja California donde habitan las tortugas negras y caguamas? ¿Cómo se describe la temperatura, clorofila *a* y batimetría en donde residen estas tortugas y a lo largo de sus desplazamientos?



1.3) Justificación del Estudio

Para una conservación exitosa del hábitat de las tortugas marinas es vital el entendimiento adecuado de sus distribuciones espaciales y temporales, de sus patrones de migración y de la utilización que tienen del entorno. Al lograr entender el medio físico y biológico en que se desenvuelven estas especies y cómo se relacionan con zonas pesqueras se puede aspirar a encontrar nuevas formas de evitar capturas incidentales y otros riesgos.

En el Pacífico mexicano ocurren cinco de las ocho especies de tortugas marinas que habitan el planeta, entre ellas *Chelonia mydas* y *Caretta caretta*. A pesar de que el comportamiento entre ambas especies es distinto, existe evidencia de que los movimientos son realizados bajo la influencia de factores como la temperatura del mar o la clorofila disponible, factores que pueden derivar en una cadena trófica avanzada con abastecimiento de alimento para estas tortugas marinas.

Este estudio forma parte de otros que pretenden dar a conocer el valor de combinar los datos de movimientos de las tortugas marinas con datos oceanográficos obtenidos de forma remota explotando las capacidades satelitales a fin de conocer las características hábitat de las tortugas y los factores que lo determinan. El establecimiento de métodos en los que se exploten estas tecnologías relativamente nuevas, de forma integrada y con un enfoque holístico permitirá avances en la recopilación de conocimiento fundamentado de cómo las tortugas marinas interactúan con su hábitat natural. Los resultados de las investigaciones en este rubro pueden sustentar la necesidad de la modificación de prácticas pesqueras y si es necesario determinar corredores migratorios que puedan ser protegidos. Se espera que este conocimiento sea usado por los encargados del manejo de áreas para desarrollar estrategias de conservación más apropiadas para las poblaciones de tortugas que se encuentran amenazadas.



1.4) Planteamiento de Objetivos

Objetivo General

Determinar la correlación cuantitativa entre los derroteros de 10 tortugas definidos por las rutas, la duración, velocidad, desviaciones y distancia a la costa, con la TSM, concentración de Clorofila *a* y la batimetría determinadas mediante imágenes de satélite.

Objetivos Particulares

- Reconstruir las 10 trayectorias de las tortugas, determinando duración, distancia a la costa, distancia a línea base y ángulo de desviación para cada una.
- Obtener la TSM a lo largo de los derroteros de 10 tortugas marinas analizando imágenes AVHRR, diarias y compuestos semanales de agosto de 1996 a agosto del 2001.
- Obtener Clorofila *a* en las 10 trayectorias analizando imágenes satelitales de color del mar, diarias y compuestos semanales de agosto de 1996 a agosto del 2001.
- Estimar la batimetría a lo largo de los derroteros de las 10 tortugas.
- Analizar estadísticas básicas de TSM, Clorofila y batimetría en los derroteros de las 10 tortugas.
- Analizar las relaciones resultantes entre las variables TSM, Clorofila y batimetría con distancias y ángulo de desviación.
- Comparar condiciones oceanográficas en presencia y ausencia de Tortugas.
- Realizar un análisis de preferencia por condiciones oceanográficas.



CAPÍTULO 2. Marco teórico

2.1) Distribución, Biología y Riesgos de las Tortugas Marinas

Tortuga Negra (*Chelonia mydas* del Este del Pacífico)

Existe cierta controversia acerca del estado taxonómico de la tortuga negra ya que *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758) del Este del Pacífico difiere de otras formas de *C. mydas* en tamaño, coloración y forma del caparazón entre otras características. Análisis genéticos no soportan las distinciones que harían a esta población una especie distinta, por lo que a lo largo de este trabajo se le nombrará como tortuga negra a *C. mydas* residente del Pacífico mexicano (Parham *et al.* 1996).

Tortuga Caguama (*Caretta. caretta*)

Caretta caretta (Linnaeus, 1758) se conoce en la región de Baja California como caguama. Esta especie se distribuye a lo largo del mundo posiblemente por la versatilidad que tiene para alimentarse (Tomas *et al.* 2001). Su característica más notoria es su gran cabeza. Se puede encontrar en aguas tropicales y subtropicales en casi todos los océanos. Miden aproximadamente 90 cm con un peso promedio de 80 Kg (NMFS, 1991).

2.1.1) Hábitat y Distribución

Las tortugas marinas en general ocupan diferentes ambientes a lo largo de su vida. Conforme crecen, se mudan de un hábitat a otro, yendo desde su hábitat pelágico a temprana edad hasta ambientes neríticos y costeros en posteriores etapas de su vida.

C. mydas se distribuye principalmente a lo largo de las costas de la franja tropical alrededor del mundo, principalmente en aguas continentales. Los juveniles, subadultos y adultos viven principalmente en aguas poco profundas con vegetación abundante, como lagunas costeras, bahías y estuarios. Al igual que otras tortugas marinas, *C. mydas* pasa los



primeros años de su vida en aguas oceánicas. Después *C. mydas* cambia su hábitat oceánico hacia áreas de desarrollo nerítico aproximadamente a los 20-35 cm de largo recto de caparazón, SCL (por sus siglas en inglés: Straight Carapace Length).

La tortuga negra se distribuye en el Pacífico Este, desde Baja California hasta el Norte de Perú, con concentraciones importantes desde el Golfo de California, pasando por Michoacán hasta el Istmo de Tehuantepec en México, Guatemala, Nicaragua, Suroeste de Colombia, Ecuador y Norte de Perú. Esta tortuga presente también en las Islas Revillagigedo, México y probablemente en la Isla Cocos, Costa Rica y en El Salvador; pueden observarse también en Colombia y Chile (Alvarado y Figueroa, 1992). En la costa del Pacífico de América se han reportado avistamientos hasta los 48°N. La población residente de tortuga negra que se encuentra más al Norte está en la Bahía de San Diego California donde un grupo de tortugas se concentran en la descarga de agua tibia de una planta eléctrica (NMFS, 1998).

La tortuga *C. mydas*, como otras especies de tortugas marinas, tiene una marcada preferencia por sus sitios de anidación. Aproximadamente el 80% de las tortugas negras adultas llegan a anidar a las costas de Michoacán, entre las playas de Colola y Maruata Michoacán (Alvarado y Figueroa, 1990) con importantes sitios de anidación registrados también en las Islas Galápagos en Ecuador. Otros lugares menos importantes en cuanto anidaciones en México están en los estados de Guerrero, Jalisco, Oaxaca, Chiapas y las islas Clarion y Socorro. Después de dejar la playa de anidación, las tortugas recién nacidas nadan frenéticamente hasta perderse en el océano durante años, periodo conocido como “El año perdido, *Lost Year*” (Musick y Limpus, 1997). Después de “el año perdido” las crías empiezan una vida en ambientes neríticos, ricos en algas y pastos donde se desarrollaran hasta alcanzar la madurez, por ejemplo, las lagunas de poca profundidad y estuarios de la costa Pacífica de Baja California que posiblemente son un hábitat para el desarrollo de los juveniles. Se tienen registros de que el Golfo de California es una de las principales zonas de alimentación para la tortuga negra anidadora de Michoacán (Alvarado y Figueroa, 1992), aunque no se han reconocido todos los sitios ya que sólo se tienen estudios detallados de Bahía de los Ángeles, Canal del Infiernillo y Loreto (Seminoff *et al.* 2002c). En



esta área las tortugas negras muestran una estrategia de alimentación donde utilizan tanto campos de algas marinas de fondo suave como hábitats bénticos ricos en invertebrados. Aquí se pueden encontrar tortugas que ya han superado la etapa pelágica, es decir, juveniles más desarrolladas y adultos (Nichols *et al.* 2002). Otros hábitats de alimentación son las zonas litorales del Salvador y Guatemala. Nichols *et al.* (2002) sugieren que también existe alta fidelidad hacia los sitios de alimentación sin descartar que *C. mydas* realiza movimientos hacia el ecuador posiblemente asociados a aguas frías.

En Bahía de los Ángeles, Baja California los juveniles de tortugas negras son un poco más abundantes, por lo que se considera una de las áreas más importantes de desarrollo y alimentación para la tortuga negra con una población estimada en 229 tortugas. Las tortugas que ahí habitan son ligeramente más grandes que la media de la costa del Pacífico con un promedio de 75 cm (Nichols *et al.* 2002).

A diferencia de otras especies de tortugas que tienen requerimientos de hábitat más específicos, *C. caretta* tiene una distribución más extensa, abarcando océanos templados y subtropicales, mostrando gran variabilidad en la utilización de la profundidad, latitudes y preferencias de hábitat en general (Hopkins-Murphy *et al.* 2003). Esta tortuga se distribuye ampliamente tanto espacial como temporalmente a lo largo de sus distintas fases de desarrollo. Pasan los primeros años de su vida en sistemas de corrientes oceánicas desarrollándose en hábitats pelágicos, mientras que en la etapa juvenil habitan áreas costeras en regiones tropicales y templadas, siendo común las juveniles de entre 30 a 80 cm de SCL en bahías y estuarios (Musick y Limpus, 1997)

Las tortugas caguamas dentro del área del Pacífico Norte son la excepción del patrón de anidamiento tropical ya que la mayoría anida en áreas templadas y subtropicales principalmente en Japón, distribuidas desde los 24 hasta los 37°N donde se han reconocido hasta ahora 42 playas (Kamezaki *et al.* 2003). Desde estos sitios, las crías entran a la Corriente de Kuroshio, ingresando al ambiente pelágico en el giro del Pacífico Norte (Nichols *et al.* 2000a) utilizado como hábitat de desarrollo. Las caguamas en su etapa pelágica pasan aproximadamente el 75% del tiempo en la superficie de la columna de



agua, sumergiéndose el 80% de las veces únicamente a 5 m. Muchas de estas tortugas son transportadas desde el Norte hasta las costas de la Península de Baja California por la Corriente de California; aquí son abundantes las etapas juvenil y subadulta por lo que es muy común encontrar tortugas caguamas de 20 a 85 cm de SCL (Bowen *et al.* 1995).

Se han reconocido grandes números de tortugas caguamas habitando giros pelágicos y meandros. Según Polovina *et al.* (2000), es posible que las zonas de convergencia sean utilizadas como hábitat de alimentación por lo que la distribución de *C. caretta* es continua a lo largo del Pacífico. En el hábitat pelágico se asocian continuamente con el material flotante en áreas de hundimiento. Este tipo de comportamiento puede generarse tanto pasiva como activamente ya que el alimento puede estar disponible en las líneas de hundimiento, especialmente sobre presas que no requieren buceo para ser capturadas y que pueden concentrarse aquí en densidades mayores. Carr (1987) denomina a las caguamas “vagabundas inteligentes” ya que pasan un tiempo considerable en inactividad, alimentándose y desarrollándose dentro de zonas de hundimiento, pero son capaces de proveerse de alimento de forma oportunista cuando no están dentro de frentes. Aunque las caguamas pueden concentrarse en ciertas localidades para alimentarse, generalmente lo hacen de forma solitaria, no nadan en grupos pero pueden compartir áreas de hábitat sobrelapadas.

2.1.2) Alimentación

Las crías más pequeñas y juveniles de *C. mydas* tienen una fuerte tendencia a la carnivoría, ocupando hábitats pelágicos una vez que dejan la playa de anidación. Al final de su fase juvenil, inician su cambio hacia una dieta básicamente herbívora. *C. mydas* es la única tortuga en edad adulta que se alimenta de pastos marinos y algas (*Thalassia testudinum*, *Syngodium filiforme*) sin que se excluya la ingesta de material animal como invertebrados bénticos, huevos de peces, peces, salpas y medusas, básicamente en ambientes neríticos y costeros (Fritts, 1981; Hays-Brown y Brown, 1982; Bjorndal, 1997; Seminoff *et al.* 2000a; Seminoff *et al.* 2000b).



C. mydas a lo largo de la costa Este del Pacífico presenta una dieta más carnívora que en otras regiones del mundo (Bjorndal, 1997). A lo largo del continente se ha encontrado evidencia del consumo de material animal (medusas, peces, huevos de peces, moluscos, poliquetos y crustáceos) por tortugas negras como los casos reportados en Colima y Jalisco (Casas-Andrew, 1980) y en Perú y Ecuador (Fritts, 1981; Hays-Brown y Brown, 1982). También se ha señalado que es posible que a lo largo de sus migraciones se detengan a alimentarse (Alvarado y Figueroa, 1992) como en los casos indicados por Mortimer (1981) y Meylan (1982). Es durante la migración cuando la tortuga *C. mydas* puede cambiar de la dieta básicamente vegetariana a carnívora (Bjorndal, 1997). Alvarado y Figueroa (1992) sugieren que existe la posibilidad de alimentación lejos de la zona costera donde se pueden consumir algas, moluscos y peces.

Según el National Marine Fisheries Service (NMFS, 1998), la tortuga negra en el Golfo de California consume algas, moluscos, crustáceos, esponjas, medusas y equinodermos. Investigaciones recientes de la dieta de la tortuga negra en el Golfo de California conducidas principalmente por Seminoff (Seminoff *et al.* 1998, 2000, 2002a, 2002b, 2002c) muestran que en la estrategia de alimentación de las tortugas negras existe la posibilidad de utilizar tanto campos de algas marinas como hábitats ricos en invertebrados bénticos. Las algas más consumidas son las rodófitas (*Gracilariopsis lemaneiformis*, *Gracillaria robusta*), clorofitas (*Codium* spp., *Ulva lactuca*) y faeofitas (*Sargassum* spp.). Seminoff *et al.* (1998) señalan para el Golfo de California un consumo considerable de especies animales (además de algas) como poliquetos tubícolas de la familia *Sabellidae*, esponjas, gasterópodos y plumas de mar (*Ptilosarcus undulatus*) lo que refleja posiblemente una mayor prevalecía de macroinvertebrados. El autor menciona también la posibilidad de que ciertas presas sean activamente perseguidas durante la alimentación además de un consumo deliberado de esponjas y caballitos de mar. López-Mendilaharsu *et al.* (2002) además de aportar más evidencia del uso de algas rojas y pastos marinos en Bahía Magdalena Baja California, reportan una tortuga con 82% de contenido estomacal de langostilla y se conocen consumos de hasta el 30% de material animal (Hilbert *et al.* 2000).



No existen evidencias suficientes para asegurar si el tipo de consumo de la tortuga negra es resultado de preferencias o consecuencia de la disponibilidad entre zonas y temporadas (Hilbert *et al.* 2000) pero es evidente que existen diferencias. No se descarta un comportamiento oportunista (Seminoff *et al.* 2002a) ya que sus preferencias pueden variar regionalmente entre áreas de alimentación. Sin embargo, las técnicas de muestreo de alimento consumido hacen difícil la recuperación de materia animal pues los invertebrados de cuerpo blando se digieren completamente sin dejar muestras identificables, a la vez que las partes rígidas de los que cuentan con exoesqueleto son difíciles de recuperar (Seminoff *et al.* 2002a). Son pocos los estudios referentes a la temporalidad del consumo ya que los estudios realizados en el Golfo de California se han realizado básicamente en verano, (Seminoff *et al.* 2002a) y en Bahía Magdalena se encontró muy poca diferencia en los hábitos alimenticios de las tortugas negras entre verano y otoño (Hilbert *et al.* 2000).

C. caretta ingiere una amplia variedad de presas, siendo principalmente carnívora tanto en ambientes oceánicos como neríticos, con un conducta alimenticia muy versátil, inclusive se les ha considerado como depredadoras omnívoras, generalistas y oportunistas (Polovina *et al.* 2000, Tomas *et al.* 2001). Hasta el 2003 (Bjorndal, 2003) se había generado una lista de cerca de 200 taxones de la gran diversidad de especies consumidas por las caguamas en sus diferentes estadios a lo largo del mundo. Su dieta varía estacionalmente y según la localización geográfica y edad de la tortuga. Ese comportamiento alimenticio variable de *C. caretta*, hace difícil extrapolar información de las dietas registradas en diferentes localidades geográficas. Limpus y Limpus (2003) por su parte afirman que la selección específica de especies presa es una función del área de alimentación de la tortuga, más que de la preferencia de su talla o sexo, comentando que incluso dentro de una misma área, su dieta es impredecible. Las langostas y crustáceos son las presas más importantes numéricamente, sin embargo, las cantidades consumidas de peces y tunicados son considerables pudiendo ser las presas más importantes en términos energéticos (Tomas *et al.* 2001).



Las crías en etapa pelágica se alimentan de una gran variedad de macroplancton, gasterópodos, pequeños peces y otros (Bjorndal 1997; Limpus *et al.* 2001); Witherington (2002) sugiere que las caguamas neonatas se alimentan de forma pasiva flotando en áreas de hundimiento. Cuando las caguamas se localizan en aguas oceánicas en profundidades mayores a 1000 m, consumen principalmente celenterados y salpas llegando a alimentarse de organismos flotantes, concentrados a lo largo de zonas frontales. Entre estos se encuentran *Janthinias sp.* y *Vellela vellela*, además de *Lepas spp.*, la langosta pelágica *Planes cyaneus* así como *Carinaria cithara* (Polovina *et al.* 2000) e incluso se ha reportado consumo de desecho de pesquerías. Estos registros de consumo son similares para el Atlántico como reporta Bjorndal (1997). Los juveniles y subadultos en áreas costeras consumen principalmente langostilla además de una gran variedad de fauna béntica: langosta, balanos, moluscos, crustáceos y gasterópodos (Hatase *et al.* 2000; Polovina *et al.* 2000; Tomas *et al.* 2001). En el hábitat nerítico consumen una gran variedad de especies invertebradas especializándose en presas de movimiento lento o inclusive sésil que pueden contar con exoesqueletos duros. Además se incluyen en su dieta presas de cuerpo blando como pepinos de mar; medusas y anémonas de mar también son consumidas, aunque en menor proporción. Algunas tortugas se alimentan mediante la captura de presas visibles del sustrato tales como almejas (*Tridacina maxima*) y decápodos.

La alimentación en aguas oceánicas es una cuestión que se había planteado antaño, basándose en una compilación de observaciones de caguamas encontradas en medio de giros oceánicos en el Atlántico y el Caribe. Polovina *et al.* (2000, 2001) ha manejado la hipótesis de que los frentes proveen hábitats adecuados para las tortugas llegando a un primer entendimiento de cómo dichas estructuras pueden proveer un hábitat de forrajeo para las tortugas juveniles. Avens *et al.* (2003) exponen que no existe una razón evidente para que las caguamas restrinjan su actividad alimenticia a una pequeña área, sin embargo su estudio sugiere que presentan cierto grado de fidelidad a sitios ricos en recursos, incluyendo aquellos de alta actividad pesquera y presencia de redes. La tortuga caguama se ha como predador mayor de importantes especies comerciales como *Amuslan japonicam*



lo cual tiene implicaciones importantes al considerar la protección de las caguamas en zonas pesqueras (Bjorndal, 1997).

Específicamente en las costas de Baja California se han observado grandes concentraciones de caguamas juveniles alimentándose de langostilla localizada en asociación con las surgencias costeras (Bowen *et al.* 1993).

2.1.3) Migración

La vida de las tortugas marinas consiste de una serie de migraciones; de adultos residen en áreas de alimentación localizadas a cientos de kilómetros de sus playas de reproducción. Como otras especies de tortugas marinas, *C. mydas* y *C. caretta* hacen migraciones extensas a lo largo de vastas áreas oceánicas tomando rutas complejas en las cuales, traslados bien direccionados son alternados con segmentos “serpenteados” relacionados probablemente con una actitud alimentaría (Morreale *et al.* 1996; Luschi *et al.* 2003a), búsqueda de la ruta más corta (Abreu, comunicación personal), profundidades menores (Nichols *et al.* 2000b) y/o corrientes marinas. A pesar de que las tortugas adultas pueden mostrar alta fidelidad tanto a sus áreas de alimentación como de anidación, no se ha demostrado que exista un corredor migratorio típico para una población dada; más bien, tortugas de áreas de alimentación dispersas pueden converger en las playas de anidación.

La primera migración realizada por todas las especies de tortugas marinas ocurre una vez que han salido del nido y alcanzado el mar. De las tortugas negras se sabe muy poco por lo que se asume que involucra un transporte pasivo por las corrientes oceánicas a lo largo de grandes distancias (Bolten, 2003b).

Las primeras evidencias de migraciones reproductivas hechas por las tortugas negras de Michoacán se reportan en un estudio hecho por Alvarado y Figueroa (1992). Estos autores encontraron que en las playas michoacanas ocurren tortugas provenientes de El Salvador, Guatemala, Nicaragua, Costa Rica y Colombia pero principalmente de Baja California. Estudios genéticos han soportado esta teoría (Nichols *et al.* 2000a) estableciendo gran



afinidad entre aquellas tortugas negras que anidan en Michoacán y las de Baja California. Este recorrido toma a las tortugas un desplazamiento de por lo menos 800 Km y según las velocidades estimadas por Alvarado y Figueroa (1992) se mueven en promedio a 20.4 Kilómetros por día. La distancia más grande reportada por una tortuga negra fue de 3 160 Km en línea recta, marcada en Michoacán y recuperada en Charambira, Colombia. La captura de 13 tortugas reveló que mientras realizan su migración las tortugas se encuentran a una profundidad promedio de $24.3 \text{ m} \pm 5.8 \text{ m}$ (NMFS, 1998).

La anidación de la tortuga negra es estacional. Las tortugas anidadoras de Michoacán realizan la migración entre agosto y enero, con un pico en octubre-noviembre, mientras que para las tortugas de Islas Galápagos esta se realiza entre diciembre y mayo, con un pico en febrero-marzo. Algunos autores han reportado para otras especies que la migración puede ocurrir contra corriente (Bustard 1976; Carr *et al.* 1978; Cornelius y Robinson 1986) o bien perpendicular a la corriente (Papi *et al.* 1997). Este mismo hecho ya se ha señalado para la población de tortugas negras que anidan en Michoacán (Alvarado y Figueroa, 1992) ya que el Golfo de California presenta una circulación superficial anticiclónica Noroeste la mayor parte del año, excepto en noviembre y diciembre (Soto-Mardones *et al.* 1999), cuando la temporada de anidación esta finalizando. Así pues, las tortugas negras que viajan desde las costas de Baja California tienen que nadar activamente contra la corriente, tanto en el viaje hacia la zona de anidación, como en el regreso a la zona de alimentación.

Existe evidencia de que *C. mydas* durante su migración puede parar para alimentarse, como en Costa Rica (Meylan, 1982) donde las tortugas entran en lagunas costeras por dos ó tres días para alimentarse antes de continuar con su migración. Es probable que *C. mydas* en migración, al atravesar tramos de mar abierto se alimente de especies pelágicas al no haber su alimento usual (Mortimer, 1981)

La telemetría satelital, es una tecnología que ha permitido el estudio de movimientos migratorios bajo condiciones naturales mediante la instalación de posicionadores satelitales y la reconstrucción precisa de rutas migratorias (Hays *et al.* 2001b). Desde 1982,



se ha observado el comportamiento de las distintas especies de tortugas marinas a lo largo de sus desplazamientos (Stoneburner, 1982; Timko y Kolz, 1982), como los de hembras en migraciones post reproductivas (Cheng 2000), de juveniles (Bolten *et al.* 1994; Plotkin *et al.* 1994) evaluando habilidades de navegación, intervalos de hábitat, comportamiento y migraciones (Nichols *et al.* 2000b). De esta forma, se ha observado que algunas poblaciones de *C. mydas* prefieren una migración a lo largo de la plataforma continental (Cheng 2000), *i.e.*, que viajan principalmente cerca de la costa sobre aguas poco profundas. La tortuga negra del Este del Pacífico no es la excepción como lo reportan Nichols *et al.* (2000b). Quizás por esta preferencia, las rutas que siguen las tortugas marinas son raramente las más cortas entre el punto de partida y su destino, aunque esto resulte en mayores distancias totales recorridas. Aunado a esto, Cheng (2000) observó la posibilidad de otros tipos de desvíos además de los dos factores mencionados (viajes costeros y/o rutas más cortas) que pueden estar relacionados con la posibilidad de que las tortugas tomen ventaja de las aguas a lo largo de la migración como áreas de alimentación temporales en las cuales ellas puedan almacenar reservas.

En julio de 1994 una tortuga caguama fue liberada en la costa centro del Pacífico de la Península de Baja California; 478 días después esta tortuga fue encontrada en las costas de Kyushu, Japón lo que proporcionó la primera evidencia directa de esta impresionante migración transpacífica (Resendiz *et al.* 1998). En 1995, Bowen *et al.* establecieron las afinidades genéticas existentes entre las caguamas del Pacífico Este y aquellas que anidan en Japón, sugiriendo que las caguamas juveniles atraviesan el Océano Pacífico Norte y regresan al Pacífico Oeste.

La migración en las tortugas caguamas originarias de Japón, depende del hábitat de alimentación al cual se encuentren adaptadas. Mientras que aquellas que alcanzan la madurez sexual en aguas oceánicas realizan migraciones estacionales hasta sus áreas de anidación (Hatase *et al.* 2004), las que se desarrollan en un hábitat nerítico lejano como en el caso de las caguamas de las costas de la Península de Baja California, realizan una sola migración hasta el Pacífico Occidental una vez que han alcanzado la madurez sexual. Esta migración implica un movimiento transpacífico de hasta 12 000 Km, utilizando



posiblemente la frontera Oeste de la Corriente Norecuatorial a través de áreas de muy baja productividad (Resendiz *et al.* 1998; Nichols *et al.* 2000a). Sin embargo, puede apreciarse que durante este trayecto atraviesan un área de convergencia en la Corriente Norecuatorial rica en plancton. Es por esto que se ha propuesto la banda entre 25 y 30° N, en la zona frontal subtropical como un corredor migratorio importante. Luschi *et al.* (2003b) al igual que Cheng (2000) notaron en experimentos con seguimientos satelitales de tortugas caguama que dos individuos siguieron aproximadamente la misma ruta destacando que a pesar de tener la posibilidad de continuar sus migraciones siguiendo la costa, deliberadamente modificaron su ruta hacia mar abierto. Este tipo de comportamiento pelágico es más usual en caguamas juveniles. Recientemente se han registrado casos de adultos en Japón con el mismo habito pelágico (Hatase *et al.* 2004).

A pesar de todos estos estudios, los indicadores o claves de migración son poco conocidos, siendo la temperatura del mar el factor que posiblemente tenga la mayor influencia (Coles y Musick, 2000). Luschi *et al.* (2003b) reflexionan acerca de los viajes de cada tortuga, en los que se tiene que tomar en cuenta factores físicos y biológicos que se espera puedan tener una influencia en las tortugas, como es el caso de corrientes, otras estructuras oceánicas, distribución planctónica, etc.

2.1.4) La temperatura del mar en la biología de las Tortugas Marinas

La temperatura del ambiente tiene influencia en la vida de las tortugas marinas desde el momento de ser concebidas. Se ha dicho que la influencia de la temperatura de mar en la vida de las tortugas marinas es muy significativa pues son organismos exotérmicos y por lo tanto, el intercambio de energía con el ambiente es la principal fuente de calor de las tortugas de forma que, están limitadas por el clima y otros factores físicos (Spotila *et al.* 1997). La rápida transferencia de calor entre la tortuga y el agua limita fuertemente el efecto del calentamiento por metabolismo de modo que tanto la ingesta como la digestión están correlacionadas positivamente con la temperatura. Esto es, las tortugas termoregulan manteniéndose en aguas templadas de forma que se especula que la temperatura puede ser importante en las migraciones estacionales en ciertas regiones (Hopkins-Murphy *et al.*



2003). Ninguna de las dos especies que se estudian en este trabajo actúa normalmente a bajas temperaturas. Esto las hace susceptibles a un fenómeno llamado en inglés “cold stunning”, que se da en aguas templadas y subtropicales, en donde la temperatura del agua desciende rápidamente (cuestión de días) ocasionando que la tortuga permanezca inactiva (Spotila *et al.* 1997). Esto obliga a las tortugas a permanecer la mayor parte del tiempo en zonas preferentemente templadas o tropicales, en aguas con temperaturas mayores a 15°C. Las tortugas mantienen su temperatura corporal entre 1 y 2° C por arriba de la del agua y responden a las variaciones térmicas con un retraso de 2-4 horas.

La exposición a temperaturas extremas es fatal cuando permanecen expuestas por periodos prolongados; el comportamiento alimentario varía en temperaturas menores de 20°C, suspendiendo la ingesta a los 15-16°C; por abajo de 15°C las tortugas muestran degradación en su coordinación al nadar, haciéndolo más lentamente sin poder mantener una velocidad constante; menos de 10°C son temperaturas mortales (Davenport, 1997). En circunstancias muy adversas y repentinas de enfriamiento, las tortugas tienden a flotar indefensas a la deriva y pueden ser arrojadas entumecidas o moribundas a las playas, como lo reportado por Felger *et al.* (1976). Temperaturas mayores a los 35°C provocan letargia. Anteriormente se realizaban experimentos de la tolerancia y respuesta a diferentes temperaturas (Schwartz, 1978) donde se observó como *C. mydas* y *C. caretta* se vuelven flotadoras pasivas a los 9°C. Las primeras mueren cerca de los 6.5°C mientras que las caguamas toman una posición horizontal a los 5°C, sobreviviendo 24 hrs. como máximo.

Los cambios moderados en la temperatura del agua también tienen varias consecuencias, *e.g.* el intervalo entre anidaciones puede variar (Webster y Cook, 2001, Hays *et al.* 2002) influenciado por la temperatura del agua siendo menor el intervalo cuando el agua es más cálida (Sato *et al.* 1998). Otras consecuencias es el incremento del flujo sanguíneo de las tortugas cuando estas se exponen a aguas cálidas y que disminuye en áreas más frías (Hochscheid *et al.* 2002) y la variación en eficiencia digestiva la cual se incrementa conforme aumenta la temperatura del agua (Lutz y Musick, 1996). Las tortugas también pueden modificar los patrones de inmersión y flotabilidad en respuesta a las variaciones térmicas (Godley *et al.* 2003a). Es un hecho que existen diferencias en la delimitación y uso



del hábitat dependiendo de las condiciones ambientales (Seminoff, *et al.* 2002b; Godley *et al.* 2003b). Godley *et al.* (2003b) plantean que las tortugas marinas siguen corrientes cálidas por lo que una diferencia en la temperatura puede modificar su ruta de migración. Nichols *et al.* (2000b) comentan que las bajas temperaturas en invierno ($\sim 11^{\circ}\text{C}$) del Norte del Golfo de California pueden ser un factor que aparentemente motiva la reemigración de tres años de las tortugas negras. En latitudes al Norte de los 25° se han realizado investigaciones de cómo la temperatura del mar puede determinar la posición de las tortugas, manteniéndose dentro de intervalos de temperatura estacionalmente variables. En estudios realizados con caguamas del hemisferio norte, se ha encontrado que se mueven más al Norte en primavera, regresando hacia el Sur en otoño (Schwartz, 1978; Shoop y Kenney 1992). Shoop y Kenney (1992) relatan que las caguamas en primavera tienen un área de influencia más al Norte, para septiembre permanecen más al Sur de acuerdo a la variación térmica estacional. De igual forma en el Atlántico de Estados Unidos las caguamas muestran una migración estacional bien definida (Schwartz 1978). En estas zonas se reportan temperaturas desde 4.9 a 32.2°C , aunque las tortugas se mantienen en aguas de 13.3 a 28°C (Coles y Musick, 2000). Esta preferencia es estacionalmente variable; durante el verano las tortugas se encuentran en agua más templada que el máximo en invierno, aunque hubiese temperaturas más frías. Se reportó también un amplio intervalo de temperaturas de agua disponible durante cada día, aunque ellas sólo se encontraron en pequeñas proporciones de tales temperaturas. Comparando varias tecnologías usadas en diversos estudios Hopkins-Murphy *et al.* (2003) concluyen que la temperatura del agua es una pieza ambiental crítica que las caguamas usan para guiar sus movimientos dentro y fuera de aguas costeras someras. Aunado a estas diferencias, en las costas de Florida se ha observado como las tasas de captura son mayores durante el verano debido a la mayor actividad de las tortugas y en invierno baja la captura de tortugas debido en parte a la inactividad de la tortuga. En esta misma localidad se reportaron movimientos de tortugas de entre 5 a 10 Km por día cuando la temperatura del agua es más fría (menor a 18°C) y por otro lado intervalos de influencia de 1.2 a 4.1 Km cuando la temperatura se encontraba arriba de 25°C (Mendoza, 1983). En contra parte autores como Hays *et al.* (2001b), no encontraron una relación directa entre las migraciones de las tortugas y la distribución de



las isothermas en una población de tortugas que migran de la isla Ascensión hasta Brasil.

Esta evidencia muestra la probabilidad de que sólo ciertas poblaciones de *C. mydas* tengan una relación directa con la temperatura del medio, siendo el cambio de temperatura más substancial para aquellas ubicadas latitudes más al Norte.

Con respecto a *C. mydas* se dice que pueden llegar a ser residentes de hábitats de desarrollo tropicales y subtropicales durante años con temperaturas estables o moderadamente estables. Pueden utilizar áreas de alimentación continentales en latitudes templadas (hasta 35°N) en verano pero deben regresar a latitudes subtropicales en invierno para evadir las bajas temperaturas (Mendoza, 1983). En bahía de los Ángeles los cambios climáticos pueden determinar la variación estacional de la actividad de las tortugas negras. Esta zona experimenta fluctuaciones estacionales considerables en la temperatura del agua, con temperaturas en verano de aproximadamente 30°C, mientras que en invierno descienden hasta los 11°C. Nichols *et al.* (2000b) muestran que a pesar de la fidelidad estacional a los sitios de alimentación, las tortugas negras pueden moverse al Norte y Sur conforme la temperatura del agua fluctúa, como en los casos de Bahía de los Ángeles. Las tortugas pueden dejar las áreas de alimentación al Norte al final del verano para regresar a las áreas de alimentación tradicionales cuando la temperatura del agua aumenta a principios de primavera.

2.1.5) Asociación de factores físicos, biológicos y recursos marinos

a) Estructuras Oceánicas

El termino “estructuras oceánicas” se refiere a los fenómenos que ocurren en el océano como consecuencia principalmente del movimiento de masas de agua distintas entre si. El viento local, corrientes de marea, fotosíntesis y la topografía del fondo pueden ser importantes en la formación y distribución de las estructuras oceánicas. Entre estas estructuras se encuentran los frentes, surgencias, filamentos, plumas, etc.



Los frentes se caracterizan por ser fronteras abruptas de varios parámetros físicos entre dos masas de agua, como temperatura, salinidad y por lo tanto, densidad; esto provoca flujo geostrofico así como un fuerte grado de hundimiento de aguas (Robinson, 1994). En estos frentes se observan masas de agua moviéndose horizontalmente una con respecto de otra. En un frente existen zonas de elevada convergencia y divergencia; las primeras provocadas por las masas de agua densa que se hunden por debajo de aguas más cálidas y ligeras, mientras que las últimas ascienden según su densidad (Olson *et al.* 1994). Estos a su vez provocan meandros y otras estructuras de menor escala. Los frentes pueden existir dentro de sistemas de mesoescala, con una amplitud de algunos kilómetros y cientos de kilómetros de largo. También existen estructuras frontales formadas en aguas someras, principalmente provocadas por marea o por calentamiento solar, lo que provoca fronteras entre aguas estratificadas y aguas mezcladas (Robinson, 1994).

Los frentes son de gran importancia debido a la productividad que provocan ya que llevan a la superficie agua fría del fondo pero rica en nutrientes. La combinación de temperatura, luz y nutrientes eleva la productividad a lo largo del frente. Esta zona de convergencia también permite que el zooplancton y organismos flotantes se concentren a lo largo del frente manteniendo sus posiciones verticales, donde tomaran la oportunidad para alimentarse del fitoplancton que se agrega de igual manera. De esta forma se van formando “buffers” de consumidores cada vez de más alto nivel trófico. También es evidente una línea de material y basura flotantes que se forma a lo largo del frente (Robinson, 1994; Seki *et al.* 2002)

Las imágenes de clorofila permiten observar tales patrones de circulación y distribución de la biomasa logrando apreciarse las variaciones de color del mar resaltando zonas de convergencia. De forma similar, en las imágenes de TSM se pueden observar los patrones más prominentes ya que es en los límites térmicos horizontales en ciertas localidades en donde pueden ubicarse zonas frontales de clorofila. Desde varias décadas atrás datos de pesquerías comerciales mostraron evidencia de que peces, como el pez espada, estaban distribuidos en hábitats térmicos preferidos, especialmente a lo largo de frentes. Se ha planteado que este comportamiento se debe a una respuesta a la acumulación de alimento,



claves migratorias o bien ahorro de energía para trasladarse a lo largo de las corrientes derivadas de las zonas de convergencia (Olson *et al.* 1994). Sin embargo, es posible evaluar las estructuras oceánicas desde un punto de vista biológico, donde la productividad asociada a los frentes puede establecer la red de una estructura alimentaria elevada (Seki *et al.* 2002).

b) Clorofila, Temperatura y Recursos Bióticos

La producción biológica del océano es dependiente de los procesos bioquímicos y físicos (Solanki, 2001), es por ello que el análisis de tales procesos ayuda a entender el ambiente oceánico y sus cadenas alimenticias. Biológicamente, los frentes representan zonas de marcada transferencia trófica.

La temperatura y la concentración de pigmentos son parámetros que se pueden tomar en cuenta para describir el ambiente superficial ya que sus variaciones afectan la distribución de nutrientes, productores primarios y secundarios y consecuentemente la dieta de depredadores mayores (Hammann *et al.* 1988). De forma general, la clorofila *a* y la temperatura del mar muestran un patrón inverso, siendo en las masas de agua fría donde se observan altas concentraciones de clorofila (Sánchez-Velasco y Shirasago, 2000) consideradas áreas productivas y por lo tanto, zonas potenciales de pesca (Solanki *et al.* 2001; Polovina *et al.* 2001). Esto se debe a que las masas de agua fría acarrean nutrientes a la zona eufótica provocando que se presenten afloramientos algales al proporcionar alimento a los organismos fitoplanctónicos dentro de la zona de influencia de la luz solar. Para Seki *et al.* (2002) la presencia de dinoflagelados y diatomeas provee una fuerte evidencia de la generación de producción nueva asociada con forzamientos físicos. Esto es porque al multiplicarse la presencia de fitoplancton y zooplancton en especial de dinoflagelados se realiza la eficiencia de la transferencia energética a niveles tróficos mayores. Por su parte las diatomeas aparecen en la columna de agua después de un enriquecimiento de nutrientes nitrogenosos. Esta concentración de productores primarios y secundarios atrae predadores de niveles tróficos más altos (Olson *et al.* 1994; Polovina *et al.* 2004). La cantidad y calidad de las estructuras oceánicas que se llegan a presentar en



una zona tendrán influencia en la transferencia trófica a lo largo de toda la cadena (Polovina *et al.* 2001). Las estructuras oceánicas por lo tanto, crean un ambiente propicio para la transferencia trófica por lo que a su vez representan un buen hábitat para la reproducción, alimentación y migración de especies pelágicas (Bakun, 1996). Los efectos son mayores en individuos que se encuentran más abajo en la cadena trófica y en consecuencia resultan más perjudicados por las condiciones climáticas. Las tortugas marinas ocupan diferentes niveles tróficos. *C. mydas*, con su dieta especialmente herbívora posiblemente están sujetas a la variación de las condiciones ambientales, pues ésta delimita directamente sus oportunidades de alimentación.

La concentración de clorofila medida con satélites resulta ser un índice adecuado para la estimación de la biomasa fitoplanctónica desde el espacio, mientras que únicamente las estructuras oceánicas más prominentes pueden ser observadas en las imágenes de temperatura. Polovina *et al.* (2000) muestran evidencia importante de cómo los hábitats de las caguamas del Pacífico Norte tienen una relación estrecha entre los frentes térmicos (17°C) observados con imágenes de temperatura. Solanki *et al.* (2001) observaron en imágenes de clorofila y temperatura que los sitios de mayores tasas de pesca se encontraban en los alrededores de estructuras oceánicas con una correlación inversa entre temperatura y clorofila por lo que proponen utilizar esta coincidencia para la explotación de recursos pesqueros.

Es un hecho que las estructuras oceánicas soportan una cadena alimentaría bien establecida que es explotada por depredadores mayores. Tales sistemas tienen integrado un gran número de fauna pelágica como el atún, albacoras, tortugas marinas, calamares, etc., recursos que son importantes para la pesca en las zonas asociadas a estos frentes (Seki *et al.* 2002).

c) Riesgos: Referencia a Captura Incidental

La tortuga negra esta listada como una especie en peligro de extinción por el NMFS (1998), pues esta importante población ha mostrado una disminución considerable en los últimos 40 años, observado principalmente en las playas de anidación.



Para 1982 se consideró que las mayores amenazas de la tortuga negra (Cliffton *et al.* 1982) comprendían entonces el saqueo y la comercialización de huevos, cosecha legal e ilegal de juveniles y adultos además de la degradación del hábitat de anidación.

Se dice que anterior a la explotación comercial, la tortuga negra solía ser abundante en la costa Este del Pacífico, desde Baja California hasta las Islas Galápagos, con especial densidad en áreas de alimentación dentro del Mar de Cortés y la costa Pacífica de Baja California. Con la introducción de la demanda comercial de productos derivados de la tortuga marina así como el crecimiento de las pesquerías comerciales, la abundancia tradicional de las tortugas se vio rápidamente reemplazada con una pesca desenfrenada. De 1956 a 1963 la tortuga negra fue el componente más importante de la pesquería de tortuga marina, con una producción total de 3, 430 tns de peso vivo. Durante los años sesentas se capturaban más de 150 tortugas por semana durante el verano, *e.g.* en 1962 sólo en Bahía de Los Ángeles se capturaron un total de 186.5 toneladas de tortugas marinas, todas estas eran *C. mydas* y *C. caretta* (Márquez, 1996). A principios de los años setentas era muy abundante en sus playas de anidación en Michoacán, con una densidad de entre 500 y 1000 hembras anidando cada noche sólo en Colola, Michoacán durante el pico de la estación, lo que resultaba en 25 000 hembras anidando anualmente en estas playas así durante las temporadas de apareamiento, los pescadores locales estuvieron capturando de 40 a 80 tortugas por día tan sólo en Maruata Michoacán, lo que significaba de entre 7 000 y 15 000 tortugas por temporada (Alvarado *et al.* 2001). En esa misma década grandes números de tortugas hibernando fueron descubiertas cerca de la isla tiburón en el Golfo de California; para 1975 ya había comenzado la fácil cacería de estas tortugas con cinco botes capturando de 4 a 5 tons de tortugas por semana de noviembre a marzo (Cliffton *et al.* 1982). Es en este punto donde se comenzó a observar como eran menos abundantes y de tallas menores, signos que indicaban un evidente colapso de las poblaciones de tortuga negra (NMFS, 1998) pues se estima que más de 165 mil tortugas negras fueron capturadas entre 1965 y 1977 en el Océano Pacífico (Groombridge y Luxmoore, 1989). Ya para 1982 se reportaban 5 585 hembras anidando en Michoacán y en 1984 tan sólo 940 (Alvarado *et al.* 1990). Fue en 1984 cuando la captura de tortugas marinas es prohibida en México



(Alvarado y Figueroa, 1990). Gracias a los esfuerzos realizados en Michoacán, la población de anidadoras no continuó con la misma tendencia, por una considerable reducción de las amenazas para el hábitat de reproducción y anidación de esta zona, con un 90% de los nidos protegidos y la declaración de Maruata y Colola, Michoacán, como reservas naturales.

A pesar de los logros de protección en las zonas de anidación, se reconoce que la población continúa decayendo y no se ha podido recuperar; la mayor responsabilidad de tal estado se le atribuye a la captura incidental o dirigida en los hábitats de desarrollo y alimentación. Las tortugas son capturadas accidentalmente en varias actividades pesqueras tanto comerciales como deportivas. Estas incluyen artes de pesca como arrastre de fondo, usado comúnmente en embarcaciones camaroneras en el Golfo de California; red agallera, red de bolsa y cerco de playa usados en la pesca costera y semi-costera en Baja California. Otras artes de pesca que deben mencionarse son líneas con anzuelo, red de deriva y palangre de fondo y superficial. Sólo en Costa Rica se estimó que el 79.5% de la mortalidad de la tortuga negra fue por capturas en barcos camaroneros (Cornelius y Robinson, 1986). El 84% de las recapturas reportadas en Alvarado y Figueroa (1992) fueron realizadas en operaciones pesqueras entre embarcaciones escameras, camaroneros y redes agalleras para peces (NMFS, 1998).

Las tortugas negras están expuestas a la captura incidental desde que sus hábitats de alimentación se transponen con áreas de actividad pesquera, de la misma forma que sucede en su migración, pues suelen atravesar zonas de alta productividad. En las pesquerías del Pacífico central los datos de captura incidental muestran que las tasas más elevadas de captura ocurren cerca de las mayores concentraciones de tortugas caguamas (Polovina *et al.* 2000) principalmente en pesca superficial.

Alvarado y Figueroa (1992), basados en evidencias de *C. mydas* consumiendo algas rojas en sus desplazamientos señalan que es posible que las tortugas negras se detengan a alimentarse a lo largo de sus migraciones así como no se descarta que las tortugas lleguen a alimentarse lejos de la costa. Estos factores hacen a las tortuga marinas más vulnerables a



la captura incidental, pues la oportunidad de alimentación está fuertemente relacionada con zonas productivas (Meylan, 1982; Mortimer, 1982; Alvarado y Figueroa 1992), en donde convergen los mayores índices pesqueros (Solanki *et al.* 2001; Sánchez-Velasco y Shirasago, 2000; Polovina *et al.* 2002).

En Baja California la tasa de mortalidad por captura se calculó superior a las 10 000 tortugas anuales (Nichols, 2002). Sin embargo, nuevos reportes indican que el mercado negro, principalmente en Baja California, es una de las principales causas del deterioro de la población con consumos de hasta 35 000 tortugas anualmente (Nichols, 2002) a lo largo de las Californias (California, EU y Baja California, México). Mediante técnicas como el marcaje de tortugas y análisis de los retornos subsecuentes, se estima que entre el 10 y el 25% de la población de tortugas son capturadas anualmente. Según Gardner y Nichols (2001), la mayor mortalidad de la región de Baja California impacta principalmente a tortugas juveniles que no han alcanzado la madurez reproductiva, tanto en tortugas negras como en caguamas cuyas capturas son sobre individuos de 26 a 83 cm de SCL. Sin embargo, es un hecho que la cuantificación de la magnitud del problema de captura incidental es difícil ya que los reportes nunca contendrán toda la información real de capturas, (Hays *et al.* 2004, Nichols, 2002) y aunque estos fueran aparentemente pequeños pueden ser significativos si las especies afectadas están severamente reducidas (Eckert *et al.* 1998).

Además de la captura incidental y furtiva se han listado diversos peligros que enfrentan las tortugas marinas dentro del ambiente marino, como pueden ser la degradación de su hábitat de alimentación, contaminantes químicos del ambiente marino, basura y desechos de pesquerías y poblaciones, colisión con embarcaciones, etc. Las caguamas se alimentan dentro de zonas de hundimiento (downwelling) donde la advección reúne no sólo organismos flotantes de los que se alimentan las tortugas, sino que también se agrupan plásticos y desperdicios, lo que representa riesgo de asfixia. Las pesquerías comerciales en la plataforma continental, requieren de hasta un 35% de la productividad primaria, lo cual es difícilmente sustentable y puede poner en riesgo la biodiversidad de estos ecosistemas. Depredadores como tortugas, aves, mamíferos marinos pueden ser afectados directamente



por la pesca comercial o como resultado del rompimiento de cadenas alimenticias causados por cambios en la composición de las especies y degradación del hábitat (Bjorndal, 1997).

d) Zonas de riesgo por pesquerías

Estadísticas de captura realizadas por el Instituto Nacional de Pesca entre 1980 y 1993 muestran que las especies comerciales más abundantes del Pacífico mexicano son las sardinas, anchovetas, atunes, caballas, lisas y mojarras entre otras, siendo las especies pelágicas más importantes (INP, 1994). En las costas de Baja California se capturan aproximadamente 600 especies de peces, aunque en el Golfo de California pueden contabilizarse hasta 820 especies susceptibles a pesca (Madrid *et al.* 1997).

Las áreas de hundimiento son continuamente zonas de frentes oceánicos de concentrada actividad pesquera donde las tortugas pasan parte de su etapa de desarrollo. Palangres (numerosos garfios con carnada en líneas cortas adheridas a una sola línea principal) son continuamente situados en estas zonas de hundimiento a fin de capitalizar en concentraciones de peces con elevado valor comercial como atunes y picudos, etc. Estos peces se concentran en zonas de elevada concentración de clorofila (Polovina *et al.* 2000; Polovina *et al.* 2001), por lo que es posible que se relacionen con las tortugas marinas en sus zonas de alimentación y migración. Por ejemplo, la flota atunera de Japón en el Oeste del Pacífico y mar de China mata más de 12 000 tortugas marinas anualmente (Witherington, 2003).

La distribución nerítica de las tortugas marinas también tiene fuertes consecuencias en su seguridad ya que estas poblaciones se sobreponen con los camarones peneidos entre otras especies comerciales. Aquí suele usarse el arrastre de fondo donde las tortugas mueren ahogadas, además de ser capturadas en redes de cerco, redes agalleras y otros tipos de artes de pesca. La captura incidental por camaroneros acumulaba más muertes que todas las actividades humanas combinadas. Sólo en Estados Unidos se llegó a estimar una mortalidad directa de 5 000 a 50 000 caguamas por ahogamiento en redes camaroneras.



La figura 2.1 presenta las especies con mayor producción pesquera y su distribución en la zona del Golfo de California y del Pacífico mexicano y que por el tipo de arte de pesca utilizado, representan los mayores riesgos de captura incidental para las tortugas caguamas y tortugas negras de esta zona (INP, 1994).

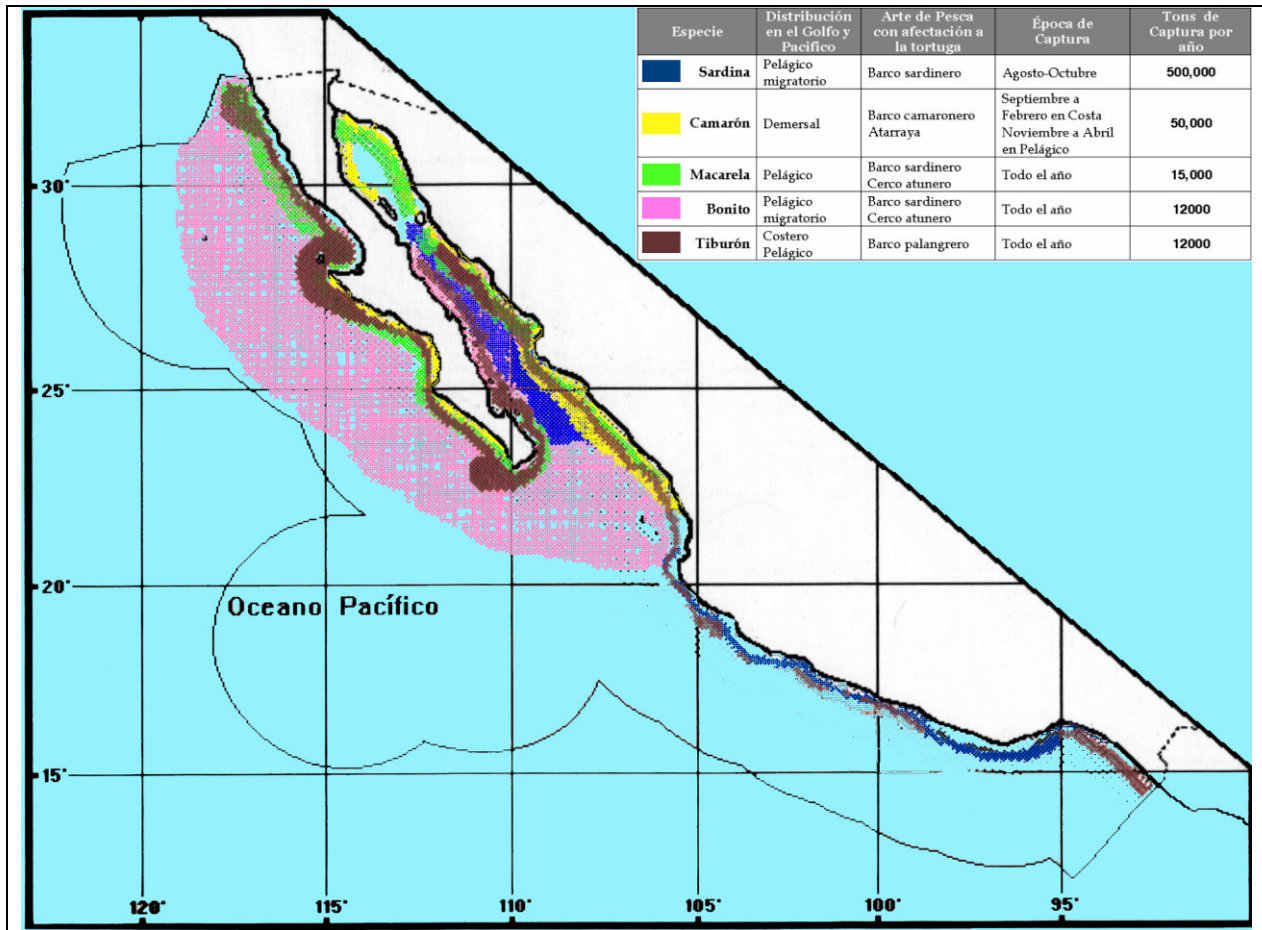


Figura 2.1. Especies comerciales del Pacífico mexicano y Golfo de California (INP, 1994)

2.2) Características Oceanográficas del Área de Estudio

2.2.1) Golfo de California

El Golfo de California es una región que presenta una amplia gama de características hidrográficas y biológicas (Soto-Mardones *et al.* 1999). Este Golfo muestra extremos en variables como la temperatura, productividad, densidad y corrientes.



El Golfo de California es una zona de alta productividad biológica (Valdez y Lara, 1987) ya que cuenta con especies desde las que tienen poco interés comercial, hasta poblaciones muy explotadas. Todas esas especies usan el golfo como hábitat de reproducción, desarrollo y alimentación. De igual forma que para muchas especies este golfo puede proveer una importante variedad de recursos alimenticios para las tortugas marinas.

El Golfo de California se rige por un sistema tipo monzón que provoca gran variabilidad estacional en temperatura, régimen de vientos y circulación. La temperatura disminuye de forma general hacia el Norte del Golfo, aunque al interior, en la región de las Islas, se encuentran las temperaturas más bajas, debido probablemente a la mezcla intensa provocada por la marea. La variabilidad de la temperatura es mayor al Norte, principalmente por causas latitudinales y estacionales. Se ha estimado que la TSM en enero-febrero está por debajo de los 18°C. En primavera, de marzo a mayo, la temperatura se eleva, hasta que alcanza temperaturas de más de 32°C de julio a septiembre con los picos máximos al final del verano, disminuyendo de los 30°C a los 20°C durante octubre-noviembre. De forma longitudinal, en el centro y Sur del golfo se observan aguas más frías en la región continental durante el invierno, por el contrario, en verano presencia de las aguas más cálidas están en este costado.

En la boca del golfo confluyen distintas masas de agua, como la Corriente de California, la Contracorriente Norecuatorial, la Corriente Norecuatorial y sólo en eventos de “El Niño” (Lavín *et al.* 2002), influencia de la Corriente de Costa Rica. Estas tienen mayor o menor influencia en la circulación dependiendo de la temporalidad. Debido a la confluencia de estas masas de agua, en la entrada del Golfo de California se producen estructuras frontales precursoras de giros y filamentos. La circulación superficial es ciclónica en verano y anticiclónica en invierno (Beier, 1997). La circulación es generada principalmente por la influencia de las corrientes provenientes del Pacífico y por los vientos fríos y secos del Norte en invierno y los del Sur en verano. La circulación ciclónica en el Golfo de California y costa central del Pacífico mexicano esta compuesta de la Contracorriente Norecuatorial. Durante el invierno un centro de baja presión con flujo ciclónico situado en



el continente causa vientos del Noroeste en los alrededores provocando transporte de agua superficial fuera del golfo (Kahru y Mitchell, 2000)

La termoclina dentro del golfo tiene un comportamiento marcadamente estacional. Al final del otoño, en invierno y principios de primavera la temperatura es más o menos homogénea en toda la columna de agua con variaciones de 2°C. Durante el verano, la termoclina tiene una variación de 30°C a los 25 m y hasta 14°C a los 50 m de profundidad.

La temperatura y la productividad, así como la disponibilidad de alimento para muchas especies, están asociadas con la variabilidad de las surgencias estacionales, derivadas principalmente del régimen de vientos y circulación (Sánchez-Velasco y Shirasago, 2000). Los cambios en los vientos que ocurren al final del otoño coinciden con el enfriamiento del agua superficial a la vez que la evaporación es mayor, lo que provoca la mezcla y el rompimiento de la termoclina, es entonces cuando hay florecimientos de plancton. Es por estas surgencias que los picos de productividad primaria se presentan de forma inversa a la TSM (González y Gaxiola, 1991). La zona de las Islas en el Golfo de California se caracteriza por bajos valores de TSM y altos niveles de clorofila, biomasa zooplanctónica y abundancia de larvas de peces lo que indica mayor disponibilidad de alimento para especies mayores.

La variación más importante en la escala interanual es causada por los eventos de “El Niño” y “La Niña” provocando variación en el nivel del mar, la circulación en la región Norte y anomalías en la temperatura del agua. En el evento de “El Niño” de 1997-1998 la temperatura aumento más de 3°C y en “La Niña” de 1998-1999 disminuyó menos de 4°C tomando la climatología normal como referencia (Lavín *et al.* 2003).

2.2.2) Pacífico Mexicano

La circulación superficial del Este del Océano Pacífico está dominada por la parte oriental y ecuatorial de los movimientos giratorios anticiclónicos del Pacífico Norte, constituidos por la Corriente de California y la Contracorriente Norecuatorial. La zona en donde convergen estas dos corrientes se conoce como zona de transición, que varía



estacionalmente influida por los vientos y la intensidad de las corrientes (Polovina *et al.* 2002).

La Contracorriente Norecuatorial es de aguas más cálidas, abastecida casi totalmente por la Corriente de California en primavera-verano y por el agua del Pacífico oriental el resto del año, periodo en que la Contracorriente se desarrolla con más fuerza. La Contracorriente Norecuatorial alcanza su máximo desarrollo en enero terminando en mayo. Al Oeste de los 110°W tiene una componente principal del Norte en su ausencia entre los 15 y 20°N, la deriva se dirige hacia el Noroeste con su máximo desarrollo en julio (De la Lanza, 1991).

La Corriente de California fluye de Norte a Sur con variaciones estacionales de alcance y magnitud. Es superficial (entre 0 y 300 m) con velocidades menores a 25 cm·s⁻¹. Su influencia alcanza los 18°N, fluyendo paralelamente a la costa. Viaja hacia el Sur a lo largo de la costa Este de la Península de Baja California. Se caracteriza por bajas salinidades y temperaturas frías. Se presentan temperaturas superficiales de 15 a 17°C al N de la costa occidental de Baja California aumentando hacia el Sur conforme avanza la Corriente de California. La temperatura también varía estacionalmente resultando en el desplazamiento de la zona de transición. En el área de Cabo Corrientes, los cambios anuales pueden ser de 5°C o más. La costa de Baja California se caracteriza por su alta productividad y es considerada como una zona de surgencia permanente pues existe durante casi todo el año siendo más intensa en primavera-verano con temperaturas de 13 a 14°C y altos valores de clorofila (Lavín *et al.* 1991; Monreal *et al.* 1999). Los vientos tienen una componente fuerte hacia el ecuador la mayor parte del año, lo que genera una surgencia casi permanente del lado continental.

Hacia el sur se observa un área triangular formada entre Cabo San Lucas, Mazatlán y Cabo Corrientes es muy dinámica por la ocurrencia de las corrientes mencionadas, formándose remolinos, frentes e intrusiones (Aguirre, 2001). Más al sur se observa la zona de Michoacán que a pesar de estar localizada en la región tropical, está bajo la influencia de regiones climáticas subtropicales y templadas. Además se han incluido en la región, las



zonas de hundimiento del Pacífico Norte, influenciado por la Corriente de California, Corriente Norecuatorial y Contracorriente Norecuatorial. Frente a la costa de Michoacán y Guerrero se localiza la alberca de agua cálida, alrededor de los 18°N donde se localizan aguas tropicales de más de 25°C con agua característica de 23°C en invierno y en verano superiores a los 28°C. En la zona tropical del Pacífico la termoclina se ubica entre los 20 y 35 m en verano cuando hay mayor radiación y poca influencia de vientos. La termoclina puede hundirse hasta 150 m en invierno, cuando la mezcla por vientos es más fuerte. Existen también variaciones diarias entre el día y la noche además de modificaciones en corto plazo principalmente ocasionadas por tormentas.

La causa principal de las variaciones climáticas interanuales a lo largo del Pacífico mexicano es el cambio en la intensidad de la circulación asociada con “El Niño”. Durante este evento, las aguas del Pacífico tropical penetran más al Norte y permanecen ahí más de lo usual derivando en TSM de 1 a 4°C más cálidas que en años no “Niño”. La presencia de agua más caliente provoca caída de indicadores de abundancia planctónica (Sánchez-Velasco y Shirasago, 2000). Esto a su vez debilita la productividad de la región con disminuciones considerables en las pesquerías. Por ejemplo, análisis con imágenes de satélite revelaron que las concentraciones de clorofila en la Corriente de California entre 1997 y 1998 fueron muy variables. La influencia de “El Niño” produjo un debilitamiento de la surgencia, aunque en Baja California las áreas mesotróficas se incrementaron y presentaron alta TSM. En el evento de “El Niño” de 1997, el ingreso de grandes volúmenes de agua ecuatorial provocó un aumento en el espesor de la capa de mezcla, ocupando al menos 100 m, la mayor parte de agua ecuatorial superficial (Kahru y Mitchell, 2000).

2.3) Teoría de la Oceanografía Satelital

2.3.1) Principios de la Percepción Remota

La percepción remota de los océanos brinda una gran ventaja sobre las mediciones hechas directamente en el medio ya que se puede tener una visión sinóptica de un gran



ecosistema acuático en apenas una fracción de el tiempo y esfuerzo de las mediciones realizadas de la misma área con otros instrumentos. El uso de sensores satelitales para la observación del océano tiene un rol importante en varias líneas de investigación: distribución de organismos, definición del hábitat marino en distintas especies, describir y explicar variaciones en la circulación y distribución de masas de agua, etc. (Laurs and Bruks, 1985).

Energía Electromagnética

La percepción remota es un concepto que abarca desde la observación directa, hasta la información capturada por dispositivos dispuestos a miles de kilómetros de su objeto de observación. Se basa en el hecho que una cierta cantidad de energía emitida por un objeto, llamado fuente de radiación, viaja cierta distancia hasta que es capturada por un sensor el cual manda una señal a un procesador que almacena los datos y los convierte en información útil. Cualquier tipo de energía radiante se puede definir en función de su longitud de onda o frecuencia. La organización de la longitud de onda en bandas con comportamientos similares se denomina espectro electromagnético (EEM, Figura 2.2) (Chuvieco, 2002).

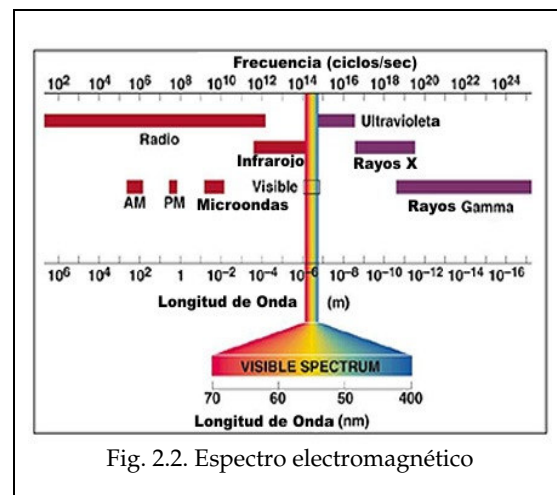


Fig. 2.2. Espectro electromagnético

Los objetos muestran 4 modos principales de interacción con la energía proveniente de la fuente o radiación incidente: transmisión, absorción, reflectancia y emisión. La forma en que las superficies de estudio interaccionan con la energía, esta dada por su naturaleza y características, resultando en observaciones conocidas como respuestas espectrales únicas a cada objeto y condición observados. La respuesta espectral es una curva que muestra la fracción de la radiación incidente que es reflejada, absorbida y transmitida en función de la longitud de onda representada a lo largo del EEM. Es por esto que los sensores definen los rangos o bandas del EEM a los que serán sensibles, en los intervalos clave de absorción y



reflexión típicos de su objetivo de estudio. También es posible medir la cantidad de energía emitida por el objeto en si, en este caso se habla de su temperatura y será medida con sensores enfocados a la longitud de onda termal más allá de $1 \mu\text{m}$.

Sensores y Plataformas Satelitales

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar la radiancia emitida o reflejada dentro de una banda de longitud de onda a la que es sensible. Las mediciones de energía electromagnética o radiancia emitida o reflejada se hacen por sensores colocados en plataformas móviles o estáticas. La plataforma es el vehiculo en donde se soporta al sensor que puede ser desde un vehículo posado en tierra hasta aviones y satélites (Chuvieco, 2002). Los satélites para la observación de la tierra se ubican típicamente en órbitas entre los 150 Km hasta los 36 000 Km de altitud lo que hará variar la extensión de la toma y los detalles que puedan ser observados, siendo los más lejanos los que tengan un mayor cubrimiento por escena pero menor detalle de visión. El tiempo necesario para que una plataforma satelital complete una órbita se conoce como periodo orbital y tiene implicaciones del tipo de imágenes que pueden ser adquiridas debido a su tiempo y periodo de exposición. Existen tres tipos principales de órbitas: heliosincrónica, polar y geoestacionaria. La órbita heliosincrónica hace que el satélite pase por el ecuador siempre a la misma hora aproximadamente, la polar permite una observación completa de la tierra, incluso cerca de los polos. La órbita geoestacionaria implica que el satélite, colocado a 36000 Km, esté en una posición fija en relación con la tierra (Robinson, 2004).

Dentro de los sensores satelitales existen divisiones tales como la forma en la que miden la energía, que puede ser pasiva si usan la energía emitida por el sol o bien puede ser activa si usan energía propia. De los primeros resaltan el escáner multiespectral que obtiene información adquiriendo la escena línea por línea en intervalos espectrales muy anchos y específicos. Luego está el espectrómetro, que obtiene información de muchas bandas espectrales muy angostas adquiriendo datos precisos acerca de la estructura microscópica del material observado. Está también el escáner térmico, que mide datos térmicos en un intervalo de $8 \mu\text{m}$ a $14 \mu\text{m}$ de longitud de onda, los cuales están directamente relacionados



con la temperatura del objeto. Si el objeto tiene longitudes de onda extremas se observan con los espectrómetros de rayos gamma, los cuales miden la energía del orden de los picómetros y del lado contrario están los radiómetros de microondas midiendo señal de longitud de onda amplia (0.01 m a 1 m). Dentro de los sensores activos se encuentran de forma general los radares y sonares (Hecker y Gieske, 2001).

Los escáneres multiespectrales a su vez se dividen en whiskbroom y pushroom. El whiskbroom es un detector con un espejo móvil que con un barrido rotacional escanea la superficie terrestre de forma sistemática línea por línea conforme va rotando el espejo (Robinson, 1994). Por sus características geométricas, el detector observa un área circular en la tierra, con un centro conocido como nadir y un diámetro que depende del ángulo de apertura de un detector (campo instantáneo de visión) y de la altura de vuelo. El IFOV o campo instantáneo de visión determina la resolución espacial y el FOV o campo de visión describe el ángulo total escaneado y es usado para determinar el ancho de barrido (Hecker y Gieske, 2001).

El escáner multiespectral divide la radiancia entrante en varias franjas espectrales, cada una de las cuales tiene un detector propio. Una de las características principales de cada detector es la sensibilidad espectral, que se refiere a la cantidad de energía que puede ser detectada en un intervalo de longitud de onda específico conocido como banda.

Imágenes obtenidas por teledetección

El sensor convierte una señal analógica, es decir la radiancia recibida, en una serie de valores digitales, los que se conocen como imágenes digitales en relación con su estructura interna. Estos valores numéricos pueden traducirse en niveles de reflectancia o temperatura dependiendo de si esta energía es emitida por la misma superficie o reflejada. Estos niveles pueden representarse gráficamente a la vez que se tiene una medición física de la superficie observada.

La imagen resultante está compuesta de pequeños elementos contiguos, llamados píxeles, que corresponden al promedio de información emitida por una unidad cuadrada de la



superficie obtenida por el fotómetro. Cada píxel estará directamente relacionado al valor de radiancia o puede estar determinado por el valor de algún parámetro derivado del cálculo de uno o más valores de radiancia. La imagen resultante dependerá directamente de la respuesta espectral (energía radiada) del objetivo, de las longitudes de onda en las que se ubican los canales del sensor así como de las propiedades de la plataforma. Una imagen se define por las siguientes características: **Cobertura espacial**: Es el total del área cubierta que es proporcional al campo de visión total (FOV, por sus siglas en inglés: Field Of View). **Resolución Espacial**: Indica la unidad de área más pequeña observada. Esto indica el máximo detalle de los objetos que puede distinguirse. En esta medida se puede evaluar el promedio de radiancia que se promedio para obtener un valor para el área cubierta por unidad o píxel. **Cobertura Espectral**: Es el total de longitud de onda observado por el sensor. **Resolución Espectral**: Se refiere al ancho de longitud de onda de las bandas espectrales a las cuales es sensible un sensor. **Resolución radiométrica**: Es la sensibilidad del sensor y a su capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. **Resolución temporal**: Periodicidad con la que se adquieren las imágenes. Esta es el tiempo mínimo en el cual se pueden adquirir dos imágenes sucesivas de la misma ubicación geográfica. La resolución temporal está en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad, inclinación) así como del ángulo de abertura del sensor. **Tamaño de píxel**: Es el área de cobertura en tierra por píxel.

Las imágenes obtenidas mediante dispositivos remotos, deben someterse a distintos procesos como la corrección atmosférica, elevación del sol y corrección geométrica, que varían según el tipo de imagen, propósito, ubicación, etc. La corrección atmosférica se realiza para eliminar aproximadamente el 80% (95% en algunos casos) de información de radiancia medida por el sensor, originada por factores externos al objeto observado, como dispersión por aerosoles (polvo, agua, sal, etc.) y absorción por ozono (Kirk, 1994). La corrección geométrica se aplica para corregir las distorsiones métricas que sufre una imagen ya que la resolución espacial disminuye a la vez que aumenta la distancia y el ángulo de visión del satélite con respecto al objeto; en el caso de AVHRR y SeaWiFS, se añade la distorsión debida a la curvatura de la tierra (Robinson, 1994).



2.3.2) Temperatura Superficial del Mar

El foco de interés en la teledetección térmica es la cantidad de energía emitida de la superficie en longitudes de onda relativamente amplias. Se basa en mediciones de radiancia electromagnética en la región infrarroja del EEM. La temperatura superficial del objeto es el factor principal que determina la cantidad de energía medida en las longitudes de onda entre los tres a los 5 μm (infrarrojo cercano) y de los 8 a los 14 μm (infrarrojo térmico) (Hecker y Gieske, 2001). En estas bandas la atmósfera es casi transparente y la señal es ligeramente atenuada por absorción. En la banda del infrarrojo térmico se manifiesta más claramente la emisión espectral de la superficie terrestre por lo que la radiancia espectral que recibe un sensor en este canal no es el resultado de la energía solar sobre la superficie terrestre sino la radiación emitida por ésta (Chuvienco, 2002).

En el océano, la temperatura depende principalmente de la cantidad de radiación solar que se absorbe. La temperatura varía de acuerdo a la estación, la latitud y factores climáticos a la vez que depende de factores como el régimen de vientos, las corrientes y la circulación profunda de la zona y en menor medida de otros factores como la precipitación y la influencia de agua continental. El océano se calienta menos durante el día y mantiene mejor la temperatura durante la noche en comparación con las masas continentales lo que le da una buena estabilidad térmica, característica inherente del agua.

Uno de los factores que más deben tomarse en cuenta es que los sensores satelitales detectan la temperatura solo de la "piel" del océano, es decir, de una profundidad de 1 mm o menos (Wunsch, 1981). Esto se da porque solo la capa superficial (~ 0.1 mm) emite radiación hacia la atmósfera *i.e.*, las longitudes de onda entre tres y 13 μm son emitidas solo por las capas de moléculas cercanas a la superficie siendo su temperatura la que controla la radiancia detectada por los sensores (Robinson, 1994). Las mediciones de temperatura y su utilidad en la oceanografía dependerán de la posibilidad de interpretar la temperatura y los movimientos de agua por debajo de ese milímetro observado. Esta medición es importante pues es en la superficie donde se presentan fenómenos dinámicos, como las interacciones con la atmósfera, viento, surgencias y evaporación, entre otras.



La forma más frecuente de obtener la temperatura superficial del mar (TSM) es con el uso de imágenes NOAA/AVHRR. El radiómetro o sensor llamado AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), es transportado por los satélites de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) dedicados a observaciones meteorológicas desde la década de 1970. Es un sensor principalmente de mediciones en el infrarrojo ya que mide la radiancia emitida en cinco bandas espectrales, una para el visible y cuatro para el infrarrojo (tabla 2.1).

Tabla 2.1. Bandas del sensor AVHRR.

Banda	Longitud de Onda (μm)	Usos Principales
1	0.58-0.68	Nubes, hielo y nieve
2	0.725-1.10	Agua superficial, hielo y nieve
3	3.55-3.93	Incendios y nubes
4	10.30-11.30	Nubosidad y temperatura superficial
5	11.50-12.50	Nubosidad y temperatura superficial, vapor de agua

Los satélites de la serie NOAA tienen una órbita polar en un ciclo de 102 minutos y se encuentran a 833 Km de la superficie de la tierra. Es por esto que se cuenta con un ciclo de cobertura muy corto, aproximadamente de 12 hrs. en latitudes altas, mejorando considerablemente la resolución temporal debido a la sincronización que existe entre los diversos satélites de la serie. Las imágenes derivadas del sensor AVHRR tienen una resolución espacial de 1.1 Km al nadir de observación, con un área de cobertura por imagen de aproximadamente 3 000 Km². Tienen mediciones en 1 024 niveles distintos es decir, una resolución radiométrica de 10 bits. Las imágenes AVHRR tienen un ángulo de barrido muy amplio (55.4°) lo que implica problemas geométricos y radiométricos, por lo que la resolución espacial del nadir puede degradarse hasta 2.4 x 6 Km en los extremos de la imagen (Chuvienco, 2002).

Las imágenes AVHRR se presentan en diferentes formatos: máxima resolución LAC (Local Area Coverage) grabada a bordo, o bien HRPT cuando se envía en tiempo real a las estaciones receptoras. Otro producto grabado a bordo es el GAC (Global Area Coverage), de menor resolución, con un tamaño de píxel de 4 x 4 Km, resultado de un remuestreo de datos LAC.



Para la obtención de la TSM del día se usa principalmente el algoritmo multicanal de ventana dividida, MCSST por sus siglas en inglés (McLain *et al.* 1985) el cual es el resultado de comparaciones hechas entre los datos obtenidos de AVHRR y mediciones de temperatura hechas por boyas alrededor del mundo. De esta forma se logró que los coeficiente de las formulas estén adecuadamente calibrados para tener una precisión de 0.1°C. El algoritmo MCSST para la obtención de temperatura durante el día es el siguiente:

$$TSM_4 = 1.017432T_{11} + 2.139588(T_{11} - T_{12}) - 283.21$$

Donde T_{11} y T_{12} son temperaturas de brillo y la TSM_4 esta dada en grados centígrados.

2.3.3) Color del Mar y Clorofila *a*

El color del mar es la respuesta espectral a la entrada de la radiación solar incidente y la contribución de la radiación difusa del cielo.

De forma general el agua refleja energía electromagnética en la franja visible, especialmente en las longitudes de onda más cortas (0.4 - 0.5 μm) y más allá de 1.2 μm toda la energía se absorbe. Su respuesta espectral se relaciona con la profundidad del cuerpo de agua, contenido de materiales en suspensión como clorofila, sedimentos o nutrientes y rugosidad de la superficie. Cuando el agua está turbia presenta una mayor reflectancia y de forma especial el agua que contiene clorofila, tiene un pico de reflectancia en la longitud de onda del verde (0.52 a 0.6 μm). La profundidad influye directamente en el aporte de reflectancia derivado de los materiales del fondo; en tanto más profundo sea el contenedor, mayor será la absorción del agua. La turbidez del agua, relacionada con su contenido de sedimentos, implica aumento de la reflectancia en todas las bandas del visible para los distintos diámetros de partícula. Si el agua tiene importantes concentraciones de clorofila la reflectancia en el azul tiende a descender aumentando en el verde. Esto permite establecer una relación entre la reflectancia del agua en el azul y el contenido de clorofila lo que facilita localizar concentraciones de algas, analizar productividad, eutrofización, etc. Finalmente, la rugosidad de la superficie favorece la reflexión difusa y en consecuencia mayor reflectancia (Hecker y Gieske, 2001).



Si bien no es posible observar individuos de ninguna forma de vida marina, si es posible observar concentraciones de la base de su cadena alimenticia, el plancton. Siendo el plancton micro algas marinas donde la clorofila es el principal pigmento fotosintético, experimenta la misma respuesta a la luz absorbiendo en el azul y rojo. Al analizar las variaciones en el color, especialmente en la franja visible del EEM del agua marina, es posible medir concentraciones de pigmentos fitoplanctónicos para hacer estimaciones de la clorofila.

La percepción satelital para el estudio del color del mar utiliza sensores de tipo óptico. Estos instrumentos funcionan en la banda visible del EEM (0.4-0.7 μm). Las mediciones del fitoplancton se logran a través de su respuesta espectral característica a lo largo del EEM. Por ejemplo, para diferenciar plancton de sólidos suspendidos, se evalúa un aumento en la reflectancia en el infrarrojo cercano asociado con un incremento en la biomasa. Sin embargo, esta diferencia es limitada pues la absorción total de estas longitudes de onda sucede a los pocos milímetros (Robinson, 2004). También la reflectancia en la banda del verde (0.52-0.6 μm) aumenta al incrementarse la concentración de fitoplancton ya que la clorofila absorbe muy poco en esta franja del EEM. Por otro lado la absorción y por lo tanto, la disminución de radiancia reflejada al final de la franja azul del EEM (0.4-0.51 μm), son indicadores de la existencia de pigmentos fotosintéticos. Se toman en cuenta también los cambios localizados en la forma de la curva y la pendiente de la distribución espectral de la clorofila. Además de absorber y reflejar, las células de las algas emiten luz; cerca del 1% de la luz absorbida por una célula fotosintetizadora es reenviada como fluorescencia con un pico en a los 0.685 μm en el EEM (Kirk, 1994).

Es importante mencionar que la luz visible que emerge de la columna de agua se origina en la primera profundidad óptica (donde se atenúa la irradiancia descendente al 37%). La zona eufótica es la profundidad donde la luz se atenúa hasta el 1%. En las imágenes se aprecia la producción primaria hasta una profundidad de atenuación, definida como la profundidad a la cual la amplitud de una onda se reduce en un factor de e^{-1} (Aguirre, 2001).



Con base en la absorción y reflectancia y omitiendo aguas con alta dispersión por sedimentos, se planteó la relación entre el logaritmo de R_{440}/R_{560} y el logaritmo de la concentración de clorofila a , incluyendo feopigmentos (productos de la degradación de la clorofila). El algoritmo propuesto por la NASA es:

$$\text{Chl}_a = -0.04 + 10 (0.341 - 3.001X + 2.811X^2 - 2.041X^3)$$

Donde Chl_a es la concentración de clorofila a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) y X expresa el cociente entre las bandas espectrales 3 y 5 del SeaWiFS:

$$X = \log_{10} \left(\frac{R_{rs}(490)}{R_{rs}(555)} \right)$$

R_{rs} es la reflectancia en las bandas.

De esta relación surge la división del agua y sus componentes a través de un sensor. Las aguas caso I, son aguas oceánicas cuyas propiedades ópticas están determinadas principalmente por fitoplancton, feopigmentos y desechos asociados (Kirk, 1994). Las zonas costeras, plataformas extendidas y bancos someros se entienden como aguas caso II donde los sedimentos (descargas de ríos, turbidez) y el material orgánico disuelto (sustancia amarilla) dominan las propiedades ópticas del mar.

El objetivo del análisis de la variación de color en el océano es primeramente determinar niveles de abundancia y distribución de organismos en un lugar y momento dados (Esaias, 1981). Es por esto que las técnicas de sensoría remota tal como el análisis de patrones de color del océano permiten una mejor comprensión de procesos biológicos y físicos que controlan el ambiente marino. Los satélites CZCS, OCTS y SeaWiFS proporcionan información al respecto.

El Coastal Zone Color Scanner (CZCS) con 4 bandas en la sección visible, una en el infrarrojo cercano y otra en el infrarrojo, estuvo en función desde 1978 hasta 1986 suministrando información valiosa del color del mar y su distribución.



El Ocean Color and Temperature Scanner (OCTS) a bordo del ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite, de Japón) realizó observaciones de clorofila y TSM en todos los océanos desde octubre de 1996 hasta junio de 1997. Contaba con ocho bandas ubicadas en la franja visible e infrarroja del EEM más 4 en las bandas del infrarrojo térmico. Alcanzaba una resolución de 700 m al nadir, con un ancho de escena de 1 400 Km. Los valores obtenidos por este sensor se almacenaban en 10 bits por píxel.

El Sea viewing Wide Field of view Sensor (SeaWiFS) fue lanzado en la plataforma Orbview-2 (Orbimage) en agosto de 1997, enfocado al estudio del color del océano. Es un escáner tipo whiskbroom con un telescopio rotatorio que mide la intensidad de la radiación emitida del océano en ocho canales, seis en la región visible del EEM y 2 en el infrarrojo cercano. Las bandas visibles tienen 0.020 μm de ancho y están centradas a los 0.412, 0.443, 0.490, 0.510, 0.555 y 0.670 μm . Las bandas del infrarrojo cercano están ubicadas entre 0.745 y 0.785 μm y 0.843 a 0.887 μm respectivamente. El SeaWiFS tiene un campo de visión bastante amplio con $\pm 58.3^\circ$ a cada lado de su trayecto principal. Esta característica más una altitud de 705 Km sobre la superficie de la tierra le da un ancho de barrido de 2 800 Km (Kirk, 1994). La resolución espacial es de 1.13 Km al nadir y los valores de radiancia se digitalizan en 10 bits.



CAPÍTULO 3. Materiales y Métodos

3.1) Materiales

3.1.1) Información de los derroteros

Este trabajo se realizó con el uso de información espacial y temporal de los derroteros de 10 tortugas marinas (tres *C. mydas* y siete *C. caretta*) obtenidos por rastreo satelital entre 1997 y 2002. Estos derroteros se derivaron de varios proyectos donde están involucradas instituciones como Blue Ocean Institute, Department of Herpetology, California Academy of Sciences, Baja California Sea Turtle Conservation Network y la WildCoast en Estados Unidos, la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo y el Instituto Nacional de Pesca en México.

Las investigaciones realizadas en la estación de Investigación de la Tortuga Marina del Instituto Nacional de la Pesca en Bahía de los Ángeles, Baja California ha producido información de la presencia y orígenes de las tortugas *C. mydas* de las áreas de alimentación y rutas migratorias entre esta zona y sus principales playas de reproducción en Michoacán. Los primeros resultados fueron reportados por Nichols *et al.* (2002) donde se establecen rutas y velocidades de las tres tortugas negras utilizadas en el presente trabajo. Los reportes realizados para las migraciones de las tortugas caguamas aparecen principalmente en la página de la Caribbean Conservation Corporation y Sea Turtle Survival League (www.cccturtle.org). Estas se dividen en este trabajo en dos tipos de derroteros: migración hacia Japón y desplazamientos en el área de forrajeo. A continuación se describe la situación especie-fase y características de cada individuo.

Tortuga 03850. Tortuga *C. mydas* hembra llamada *Marisol* de 74.3 cm SCL, equipada con el transmisor satelital el 23 de noviembre de 1998 y liberada en Bahía de los Ángeles. Marisol atravesó el Golfo de California para continuar sobre la costa continental y alcanzar la vecindad de las playas de anidamiento en Michoacán el 13 de enero de 1999. La velocidad media de nado en todo el trayecto fue de 39.7 Km por día, con una distancia mínima recorrida de 2 011 Km.



Tortuga 05523. Tortuga *C. mydas* hembra de 89.9 cm SCL llamada Xaviera. Después de ser capturada en Bahía Juncalito, Baja California Sur, fue equipada con el transmisor y liberada el 11 de agosto de 1997. En su trayecto cruzó al lado Este del Golfo de California y permaneció relativamente cerca de la costa. Se confirmó su anidamiento en Michoacán el 10 de octubre de 1997. Su velocidad media de nado fue de 45 Km por día con 1 620 Km mínimos recorridos.

Tortuga 01084. *C. mydas* llamada DJ; esta tortuga negra midió 75.6 cm SCL, fue equipada con el transmisor el 25 de enero de 1997. Fue capturada en Bahía de los Ángeles y se mantuvo en cautiverio por algún tiempo. En su migración la tortuga viajó a lo largo de la costa durante 90 días antes de alcanzar Colola, Michoacán donde permaneció hasta el cese de la transmisión. La velocidad media para todo el trayecto fue de 18.5 Km por día. Sin incluir los movimientos realizados en la zona de anidación alcanzó 22.5 Km por día.

Adelita. Fue capturada en octubre de 1986 y se mantuvo en cautiverio cerca de 10 años. Fue liberada a 2 Km de Santa Rosalita, Baja California a los 28°40'N, 114°14'W en agosto de 1996. Al momento de la liberación presentaba un peso de 95 Kg y 83.4 cm SCL. Esta es la única *C. caretta* en este estudio que presenta la migración completa hasta Japón.

Lupita. Tortuga *C. caretta* subadulta de 158 Kg. Esta tortuga fue liberada con un transmisor satelital cerca de Santa Rosalita, Baja California. Estuvo transmitiendo mientras tomaba una ruta migratoria hacia Japón por algunos meses para después dejar de transmitir.

Yamilet Tortuga *C. caretta* hembra de 240 Kg. Fue liberada con un transmisor satelital el 16 de marzo de 1999 en las afueras de las costas de Santa Rosalita, Baja California. Esta tortuga después de haber viajado miles de kilómetros se detuvo en medio del Pacífico en un área conocida como la Zona de Transición del Pacífico Norte donde cesaron las transmisiones.

Carla. Tortuga *C. caretta* juvenil que fue capturada y liberada el 25 de julio de 1999 cerca de la boca de Bahía Magdalena, Baja California, en el Océano Pacífico. Esta tortuga se mantuvo alrededor de las costas de Baja California, con un movimiento inicial hacia el



Oeste, luego tuvo casi 4 meses de no mandar señal hasta que nuevamente se tuvo noticias de ella.

Hasekura. Es una tortuga *C. caretta* juvenil liberada fuera de Bahía Magdalena el 17 de agosto de 1999.

Urashima. *C. caretta* juvenil que al igual que Carla, fue capturada y liberada el 25 de julio de 1999 en las afueras de Bahía Magdalena, Baja California. Los registros con que se cuenta en este estudio son pocos y todos ocurren hasta 150 Km de la costa de Baja California.

Xiomara. *C. caretta* subadulta que fue capturada en septiembre de 1997, aproximadamente a 12 millas de las costas de Baja California Sur. Pesó 89 Kg y fue liberada el 10 de septiembre de 1997 de Punta Abreojos. Después de su liberación estuvo rondando el área para luego moverse hacia el Sur a una posible área de alimentación.

La tabla 3.1 muestra un compilado de las 10 tortugas que se usaron para este estudio.

Tabla 3.1. 10 derroteros de tortugas marinas usados en este trabajo.

	<i>Especie</i>	Tipo de derrotero	Periodo de Seguimiento
Adelita	<i>C. caretta</i>	Migración hacia Japón	Agosto 1996- Agosto 1997
Dj	<i>C. mydas</i>	Migración pre-anidatoria	Enero-Mayo 1997
Carla	<i>C. caretta</i>	Área Forrajeo	Julio - Septiembre 1999
Hasekura	<i>C. caretta</i>	Área Forrajeo	Agosto-Septiembre 1999
Lupita	<i>C. caretta</i>	Migración Parcial a Japón	Julio – Octubre 1998
Marisol	<i>C. mydas</i>	Migración pre-anidatoria	Noviembre 1998- Enero 1999
Urashima	<i>C. caretta</i>	Área Forrajeo	Julio – Septiembre 1999
Xaviera	<i>C. mydas</i>	Migración pre-anidatoria	Septiembre – Octubre 1997
Xiomara	<i>C. caretta</i>	Área Forrajeo	Septiembre 1997- Junio 1998
Yamilet	<i>C. caretta</i>	Migración Parcial a Japón	Agosto – Septiembre 1999

La información que tiene cada uno de los derroteros es:

Posición puntual en coordenadas geográficas como grados decimales.



Día y hora de obtención del dato en año-mes-día y horas decimales.

Nivel de confianza del dato (0, 1, 2, 3, A y B, de mayor a menor nivel).

3.1.2) Imágenes de Temperatura Superficial del Mar

Se usaron imágenes diarias AVHRR de Temperatura Superficial del Mar, obtenidas por satélites NOAA. Se obtuvieron imágenes del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota del Instituto de Geografía de la UNAM así como del Oregon State University COAS SST Image Archive y del 4 Km AVHRR Pathfinder Project v5.0 at National Oceanographic Data Center.

3.1.3) Imágenes de Clorofila

En el Instituto de Geografía de la UNAM existen imágenes de clorofila desde finales de marzo de 1998 a la fecha. Con el fin de abarcar toda la extensión temporal y espacial de los derroteros se recurrió al acervo de la NASA, Goddard Earth Sciences (GES) Data and Information Services Center donde se encuentra ubicado el Distributed Active Archive Center (DAAC), de donde se obtuvieron imágenes SeaWiFS de resolución local (LAC) de 1 Km y de resolución global (GAC) de 4 Km. De este mismo sitio de la NASA se consiguieron imágenes OCTS (Ocean Color and Temperature Scanner) para los casos de la tortuga negra DJ (enero - mayo de 1997) y de la caguama Adelita (agosto de 1996 - agosto de 1997) esta última con rastros que ocurrieron cuando todavía no se disponían imágenes SeaWiFS y que aunado a eso hace una migración completa de Baja California a Japón, lo que implicó un cubrimiento de imágenes de la mitad del globo terrestre. Fue necesario ubicar las imágenes que cubrirían el área de análisis en la fecha adecuada para cada tortuga, pues las imágenes no siempre tienen el mismo cubrimiento. En los casos de las migraciones de *C. caretta* se solicitaron imágenes de las unidades de Hawai y Japón. Las imágenes se solicitaron como SeaWiFS Authorized Research Users para posteriormente descargarlas por un FTP asignado.



3.1.4) Definición de variables

Se definieron las siguientes variables que determinan cada posición de las tortugas:

Variables Independientes

- **TSM** (temperatura superficial del mar). Variable continua, se reporta en °C usando 2 decimales.
- **Clorofila *a***. Variable continua, reportada en mg·m⁻³. Se reporta con un redondeo a cinco decimales

Variable Independiente Secundaria

- **Profundidad** (Batimetría). Continua, reportada en metros, sin decimales.

Variables Dependientes

- **Duración de cada segmento**. Diferencia de tiempo acumulado entre los 2 puntos del segmento. Variable continua medida en horas con ocho decimales.
- **Velocidad**. Aproximación de la velocidad de desplazamiento por segmento dada en Km· hr⁻¹. Variable continua reportada con cinco decimales.
- **Angulo de Desviación**. Variación en el ángulo de un segmento con respecto del anterior. Variable continua reportada con cinco decimales.
- **Distancia de la costa**. Distancia más corta de un punto en cada segmento a la línea de costa (para la migración de *C. mydas*) medida en metros y reportada con cinco decimales.
- **Distancia a línea base**. Distancia hacia una línea imaginaria, la cual representa el trayecto más corto entre el punto de partida y el punto final (para las migraciones en ambas especies).
- **Orientación**. Es el ángulo que describe cada segmento en relación a una línea horizontal.



3.2) Métodos

3.2.1) Reconstrucción de las trayectorias

Se partió de los datos puntuales de latitud y longitud de cada derrotero para reconstruir cada una de las trayectorias, uniendo los puntos contiguos temporalmente, generando N-1 líneas de recorrido (donde N es el número de posiciones). Se determinó también el tiempo transcurrido (horas decimales) entre un punto y otro, es decir, el tiempo que la tortuga empleó en recorrer cada tramo entre el punto X_i y el punto X_{i+1} y se definió como *Duración_total_linea* X_i .

A partir de los datos que se obtuvieron a través de las lecturas de satélite se depuraron y se les dio un formato manejable. Se eliminaron campos con información redundante o de control de la toma satelital (figura 3.1). Se eliminaron los errores evidentes como en los casos de falta de datos, los llamados nivel Z con insuficiente precisión, o bien valores fuera de ubicación. También se convirtió tanto la Fecha y la Hora a un formato estándar: fecha como AA-MM-DD (AA: año; MM: mes; DD: día) y la hora como un valor decimal entre 0 (0:00 hrs) y 1 (24:00). Esto se realizó con el uso de fórmulas en los programas Word y Excel.

<pre> 05524_Date: 12.07.97 10:19:03 LC: 3 IQ: 68 Lat1: 47.679N Lon1: 122.125W Lat2: 43.207N Lon2: 99.509W Nb mes: 007 Nb mes>-120dB: 002 Best level: -118 dB Pass duration: 514s NOPC: 3 Calcul freq: 401 647275.7 Hz Altitude: 0 m 147 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 109 147 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 109 </pre>									→	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Fecha</th> <th>Hora</th> <th>ID</th> <th>Lon1</th> <th>Lat1</th> <th>Lon2</th> <th>Lat2</th> <th>Nivel</th> <th>IQ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12.07.97</td> <td>10:19:03</td> <td>1</td> <td>-122.125</td> <td>47.679</td> <td>-99.509</td> <td>43.207</td> <td>3</td> <td>68</td> </tr> <tr> <td>12.07.97</td> <td>11:58:16</td> <td>2</td> <td>-122.124</td> <td>47.679</td> <td>-146.639</td> <td>52.492</td> <td>3</td> <td>68</td> </tr> <tr> <td>12.07.97</td> <td>13:35:21</td> <td>3</td> <td>-122.123</td> <td>47.679</td> <td>-76.133</td> <td>38.954</td> <td>3</td> <td>68</td> </tr> <tr> <td>12.07.97</td> <td>13:38:55</td> <td>4</td> <td>#¡VALOR!</td> <td>???????</td> <td>#¡VALOR!</td> <td>???????</td> <td>Z</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>12.07.97</td> <td>15:15:17</td> <td>5</td> <td>-122.114</td> <td>47.677</td> <td>-123.01</td> <td>47.846</td> <td>1</td> <td>68</td> </tr> <tr> <td>12.07.97</td> <td>16:54:31</td> <td>6</td> <td>-122.121</td> <td>47.682</td> <td>-170.711</td> <td>56.52</td> <td>2</td> <td>68</td> </tr> </tbody> </table>									Fecha	Hora	ID	Lon1	Lat1	Lon2	Lat2	Nivel	IQ	12.07.97	10:19:03	1	-122.125	47.679	-99.509	43.207	3	68	12.07.97	11:58:16	2	-122.124	47.679	-146.639	52.492	3	68	12.07.97	13:35:21	3	-122.123	47.679	-76.133	38.954	3	68	12.07.97	13:38:55	4	#¡VALOR!	???????	#¡VALOR!	???????	Z	0	12.07.97	15:15:17	5	-122.114	47.677	-123.01	47.846	1	68	12.07.97	16:54:31	6	-122.121	47.682	-170.711	56.52	2	68
Fecha	Hora	ID	Lon1	Lat1	Lon2	Lat2	Nivel	IQ																																																																									
12.07.97	10:19:03	1	-122.125	47.679	-99.509	43.207	3	68																																																																									
12.07.97	11:58:16	2	-122.124	47.679	-146.639	52.492	3	68																																																																									
12.07.97	13:35:21	3	-122.123	47.679	-76.133	38.954	3	68																																																																									
12.07.97	13:38:55	4	#¡VALOR!	???????	#¡VALOR!	???????	Z	0																																																																									
12.07.97	15:15:17	5	-122.114	47.677	-123.01	47.846	1	68																																																																									
12.07.97	16:54:31	6	-122.121	47.682	-170.711	56.52	2	68																																																																									
a)				b)																																																																													

Figura 3.1. Transformación de los datos de a) a los seguimientos con un formato estándar b)

Se exportaron las tablas generadas hacia el manejador de Bases de Datos Access, se adicionaron los campos de *ID* (identificador único) e *ID_Linea* (identificador de línea) a cada punto, donde $ID_Linea = ID - 1$, donde los puntos N-1 y N forman la línea N. Luego, a partir de tablas generales de calendarización generadas para estos datos, se agregaron los campos *Día_consecutivo*, *Dia_Acumulado* y *Dia_indiceAño* con el fin de tener una relación de



tiempo entre los registros: $Dia_Acumulado = Día_consecutivo - Día_consecutivo_inicial$. $Dia_consecutivo$ es un entero que refiere al número de día desde el 1 de enero de 1997. Se agregó también el campo *Duracion (hrs)* mediante la siguiente formula:

$$((Dia_Acumulado - Dia_Acumulado_anterior)*24) + ((Hora-Hora_anterior)*24)$$

Donde: $Dia_Acumulado$ y $Hora$ se refieren al momento en que se hizo la lectura del punto que define una línea. $Dia_Acumulado_anterior$ y $Hora_anterior$ se refieren al momento del primer punto que constituye ese segmento (Tabla 3.2). De esta forma se obtuvieron N-1 líneas de N puntos de localización para cada derrotero.

Lon1	Lat1	Fecha	Hora	Nivel	ID	Id_linea	Dia_consecutivo	Dia Acumulado	Durat(hrs)	Dia_indiceAño
-114.529	28.829	98-07-05	0.07724537	3	1	0	551	0		186
-114.736	28.959	98-07-05	0.423842593	0	2	1	551	0	8.318333333	186
-114.679	28.914	98-07-05	0.523009259	2	3	2	551	0	2.38	186
-115.601	28.778	98-07-08	0.465034722	3	4	3	554	3	70.60861111	189

Tabla 3.2. Ejemplo de listado de puntos con atributos.

Se realizó la primera validación espacial de los puntos obtenidos con el SIG ArcGis 9.0. Esto se logró exportando las bases de datos a un formato de texto, adicionándolos como una tabla externa, para luego añadirlo como un tema de eventos y salvarlo como un archivo de vectores de puntos. Estos puntos se evaluaron con un vector de polígonos del continente con escala 1:250,000. De esta forma se eliminaron posiciones ubicadas en tierra, mediante una selección por tema de los puntos que tuviesen su centro dentro de cualquier elemento del continente e Islas.

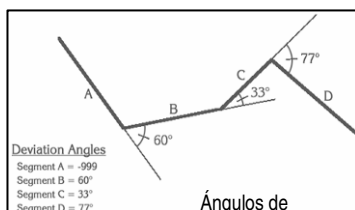


Figura 3.2. Ángulos de desviación

De forma gráfica, los trayectos se reconstruyeron en el SIG ArcView 3.2a, usando la extensión Path with Distances and Bearings v.3.1 (Jenness, 2004b). Esta extensión se alimentó con la tabla de las coordenadas con un identificador único del punto y un indicador de orden (consecutivo en el orden que se genera la ruta).

Al ejecutar esta extensión también se obtienen atributos de cada segmento como la distancia entre puntos, rumbo entre puntos, ángulo de desviación con respecto al



segmento anterior, lo que se traduce para los fines de este proyecto en: distancia recorrida entre dos lecturas, inclinación en la horizontal y la desviación del rumbo entre dos segmentos. También se obtuvo un solo segmento de la ruta completa con la distancia total recorrida. Es importante remarcar que el algoritmo usado por esta extensión calcula las distancias y los ángulos tomando en cuenta la curva geodésica (simulando la curvatura de la tierra) con el fin de obtener mediciones precisas.

Se exportó a Access la base de datos de cada archivo de ruta y se creó una consulta relacional para ligar los resultados del proceso anterior con la primera tabla. De esta forma quedaron asignados los atributos de distancia y duración para cada segmento del trayecto de cada tortuga, permitiendo asignar una velocidad de recorrido entre puntos dada en $\text{Km} \cdot \text{hr}^{-1}$ mediante una actualización con la fórmula:

$$\text{Vel} = \text{distancia} / \text{duracion} / 1000$$

Posteriormente se depuraron los derroteros, eliminando los puntos que definieran segmentos con velocidades mayores a $3 \text{ Km} \cdot \text{hr}^{-1}$. Ya que al eliminar posiciones se modificaban los atributos de segmento, era necesario repetir el proceso cada vez desde los primeros datos. Al final se obtuvo una tabla para cada tortuga con la estructura que muestra la tabla 3.3.

Nombre Campo	Tipo de Dato	Intervalo de datos	Formato	Descripción
ID_linea	Entero	0 . . N		Identificador y número de segmento
Lon	Flotante	-180...180	###.###	Longitud en grados decimales
Lat	Flotante	45...0	###.###	Latitud en grados decimales
Fecha	Cadena	-	AA-MM-DD	
Hora	Decimal	0...0.99999	0.#####	Formato de hora donde 0 = 00:00 y 0.99999=23:59:59
Nivel	Carácter	3,2,1,A,B	C	Clasificación de la calidad de las posiciones donde 3 tiene la mayor precisión
Duracion	Flotante	0 . . ∞	X.#####	Tiempo transcurrido entre las dos posiciones de un segmento
Distancia	Flotante	0 . . ∞	X.#####	Distancia recorrida entre las dos posiciones de un segmento
Inclinación	Flotante	0 . . 360	###.#####	Angulo con respecto a una línea horizontal paralela al ecuador
Ang_Desv	Flotante	0 . . 180	###.#####	Angulo desviado entre dos segmentos contiguos
Velocidad	Flotante	0 . . 4	#.#####	Distancia recorrida entre la duración de un segmento

Tabla 3.3. Estructura final de las tablas de los derroteros de cada tortuga.



3.2.2) Procesamiento de Imágenes de TSM

La primera etapa del trabajo con las imágenes satelitales de TSM, fue crear una Base de Datos que organizara la información relevante de las imágenes almacenadas dentro del Laboratorio SIG-PR, como fecha, hora, satélite, lugar de almacenamiento, etc. a fin de consultar y determinar cuáles serían útiles. La base de datos se construyó con Access, a partir de listados en texto plano con la información de las imágenes que existen dentro del acervo del laboratorio SIG-PR, del Instituto de Geografía, UNAM. Estos cerca de 50 archivos presentan diferentes formatos, por lo que fue necesario trabajarlos con Excel para eliminar información innecesaria para la base de datos. Se creó un programa en Visual Basic 6.0 que se encargó de crear una tabla que contuviese el registro como se encontraba almacenado en el archivo de texto, el nombre del archivo, nombre de la imagen, fecha y hora de la toma. Posteriormente se importó la información depurada a Access para generar dos tablas. La base de datos permitió hacer consultas por diferentes campos como fecha, hora y cinta.

Para evaluar las imágenes que se emplearían en cada trayectoria de tortuga, se realizaron consultas con fechas que abarcasen el periodo de monitoreo para cada una de estas; conociendo así la existencia física, nivel de procesamiento y ubicación.

Las imágenes se procesaron con el sistema TeraScan, proceso que consistió en hacer a cada imagen una corrección por distorsión, corrección y eliminación de nubes y cálculo de la TSM usando el algoritmo MCSST (McLain *et al.* 1985) mediante instrucciones en línea de comando UNIX, que han sido agrupados en distintos macros. Finalmente se hace una corrección geométrica con el modulo XVU de TeraScan. Las imágenes se registran a un sistema de coordenadas geográficas (grados decimales) con proyección Mercator. Las imágenes resultado de este proceso tienen un nombre con el siguiente formato:

nSS.AAMMDD.hhmm.nino.sst.reg

Donde SS es el número del satélite NOAA; AAMMDD es la fecha definida por 2 dígitos para año, 2 para mes y 2 para el día; hhmm la hora y minutos; y por último los indicadores de los procesos que se le han aplicado a la imagen. Estas imágenes se encuentran en un formato TDF y para que pudieran usarse en los programas del sistema Windows se



convirtieron a formato HDF.

Una vez en formato HDF, se organizaron en una carpeta dentro de una PC, para cortar en serie sólo el área necesaria para el derrotero que se estuviera analizando eliminando el resto de la imagen. Este proceso se realizó con el programa WAM (Kahru, 2003a).

Las imágenes de la Oregon State University y las Pathfinder se encuentran almacenadas en formato raster, por lo que, para su manipulación necesitan parámetros de entrada como dimensión, coordenadas, desplazamiento y en algunos casos paleta de color para el despliegue. En WIM (Kahru, 2003b) se hizo que la imagen tuviera un archivo (*nombre de la imagen*).inf asociado para que el programa pudiera leer la información necesaria para su despliegue. Ya que la cantidad de imágenes analizadas es del orden de los cientos, se desarrolló un programa en Visual Basic 6.0 que agregó el archivo *.inf a todas las imágenes.

Las imágenes obtenidas desde el Oregon State University COAS SST Image Archive abarcan un área que va desde los 39.23°N, 132.29°W, hasta los 18.76°N, 106.70°W, por lo que sólo fueron utilizadas para rellenar faltantes de imágenes del Laboratorio de SIG-PR para las tortugas *C. caretta* en su área de alimentación y fragmentos de las migraciones. Estas imágenes se descargaron desde el directorio FTP <ftp://pisco.coas.oregonstate.edu/ebc/globec/south>. Cada imagen tiene asociada una máscara de nubes. Posteriormente, las imágenes de TSM se descomprimieron y se enmascararon con las imágenes de nubes, de tal forma que si se encontraba un valor digital 0 en la nube ese píxel de la imagen se conservó.

Para los casos de las tortugas Adelita y Yamilet fue necesario usar imágenes Pathfinder pues son imágenes globales de alta resolución (4 Km) disponibles para varios años en el sitio FTP: [data.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/pathfinder/Version5.0/](ftp://data.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/pathfinder/Version5.0/). Estas imágenes vienen acompañadas de un archivo de enmascaramiento el cual contiene valores del 1 al 7 referentes a la calidad de los valores de la imagen, basándose en la calidad de la atmósfera para lecturas de radiación. Entre menor sea el valor de la máscara, mejor calidad tendrán los valores de temperatura. Ya que estas imágenes son muy grandes en tamaño y cantidad de información, resultaba poco óptimo desplegar todas las imágenes, por lo que se optó



por desplegar únicamente la máscara, analizar el área, ubicar el segmento en cuestión y si existían valores válidos de TSM (máscara con valores del 1 al 3), entonces se desplegaban ambas imágenes, la de temperatura y la de máscara y se generaba una nueva imagen a partir de estas indicando al programa que conservara los valores de TSM donde la máscara tuviese los valores 1, 2 o 3.

Una vez que ya se tenía la compilación de las imágenes necesarias para un seguimiento de tortuga se extraían los valores de TSM utilizando WIM. Para sobreponer los trayectos, fue necesario dar una estructura diferente a los datos con formato de texto plano y con la extensión *.trk, en la forma:

Lon1 Lat1 Lon2 Lat2 ID

Donde cada par de coordenadas se refiere a los puntos que definen una línea y el ID funciona como identificador. Una vez que era cargada la imagen correspondiente a un segmento, se sobreponía el trayecto mediante el módulo GeoTracking. Se almacenaron los valores con un formato de Longitud, latitud y valor como se muestra en la figura 3.3.

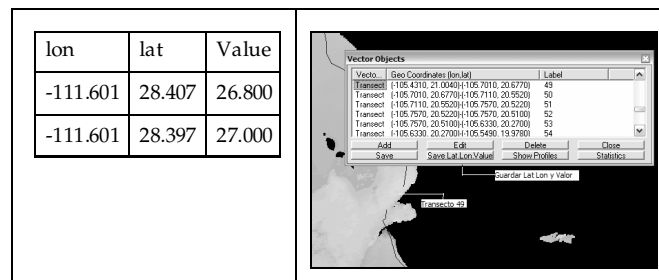


Figura 3.3. Formato de almacenamiento de valores de TSM.

Idealmente se tomaban los valores de TSM de las imágenes correspondientes a los días que conforman el trayecto, es decir, desde el día de la toma de la posición uno de la línea hasta el día de la posición dos. En caso de existir valores inválidos se hacían composiciones de máximo tres días bajo los siguientes criterios:

- 1°. Se tomaba la imagen del siguiente día GTM a las 00hrs, (00-01), que es en realidad el día en cuestión a las 6 pm hora local.
- 2°. O la imagen del día anterior y/o posterior a la misma hora, esto es, 20hrs GTM, 2pm hora local



3°. O la imagen del día anterior a las 00hrs

4°. O bien el promedio de las imágenes de 2 días antes y 2 días después

5°. Y finalmente en casos extremos, el promedio de las imágenes de tres días antes y tres después

El nombre que se le dio a cada archivo originado contiene el número de línea y un índice de la imagen utilizada: *linea_imagen.pnt* (dos o tres dígitos para línea y tres dígitos para imagen). El resultado de este proceso es un conjunto de archivos, cada uno con los valores de temperatura para cada línea obtenidos de una imagen. En el caso de las imágenes de la Universidad de Oregon, se obtuvieron valores de 0 a 255 por lo que a los datos obtenidos se les aplicó una conversión para obtener valores de temperatura mediante la formula:

$$(\text{valor_pixel} * 0.1) + 7$$

De igual forma a los valores obtenidos del Pathfinder se les aplicó la formula:

$$(\text{Val_pixel} * 0.075) - 3$$

Para compilar la información de forma óptima se elaboró un programa en Visual Basic 6.0, este toma cada línea contenida en un archivo *.PNT insertándolas en otro, generando un identificador de orden similar a ID_Plinea, único para el segmento al que pertenecen. Luego se tomó el identificador del segmento al que pertenecen esos valores y se les añadió a cada línea del archivo. La figura 3.4 ilustra la transformación de los datos:




 1_206.pnt <table border="1"> <thead> <tr> <th>lon</th> <th>lat</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-111.601</td> <td>28.407</td> <td>26.800</td> </tr> <tr> <td>-111.601</td> <td>28.397</td> <td>27.000</td> </tr> </tbody> </table>			lon	lat	Value	-111.601	28.407	26.800	-111.601	28.397	27.000	<p style="text-align: center;">Archivo TSM.dat</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lon</th> <th>Lat</th> <th>Val_pixel</th> <th>Arch_origen</th> <th>linea</th> <th>Id_Plinea</th> <th>TSM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-112.08</td> <td>24.41</td> <td>171</td> <td>206</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>24.1</td> </tr> <tr> <td>-112.08</td> <td>24.41</td> <td>172</td> <td>206_2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>24.2</td> </tr> <tr> <td>-112.08</td> <td>24.41</td> <td>154</td> <td>207</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>22.4</td> </tr> <tr> <td>-112.09</td> <td>24.41</td> <td>157</td> <td>210</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>22.7</td> </tr> <tr> <td>-112.09</td> <td>24.41</td> <td>176</td> <td>206_2</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>24.6</td> </tr> </tbody> </table>							Lon	Lat	Val_pixel	Arch_origen	linea	Id_Plinea	TSM	-112.08	24.41	171	206	1	1	24.1	-112.08	24.41	172	206_2	1	1	24.2	-112.08	24.41	154	207	1	1	22.4	-112.09	24.41	157	210	1	2	22.7	-112.09	24.41	176	206_2	1	2	24.6
lon	lat	Value																																																										
-111.601	28.407	26.800																																																										
-111.601	28.397	27.000																																																										
Lon	Lat	Val_pixel	Arch_origen	linea	Id_Plinea	TSM																																																						
-112.08	24.41	171	206	1	1	24.1																																																						
-112.08	24.41	172	206_2	1	1	24.2																																																						
-112.08	24.41	154	207	1	1	22.4																																																						
-112.09	24.41	157	210	1	2	22.7																																																						
-112.09	24.41	176	206_2	1	2	24.6																																																						
 1_206_2.pnt <table border="1"> <thead> <tr> <th>lon</th> <th>lat</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-111.601</td> <td>28.407</td> <td>26.800</td> </tr> <tr> <td>-111.601</td> <td>28.397</td> <td>27.000</td> </tr> </tbody> </table>			lon	lat	Value	-111.601	28.407	26.800	-111.601	28.397	27.000																																																	
lon	lat	Value																																																										
-111.601	28.407	26.800																																																										
-111.601	28.397	27.000																																																										
 1_207.pnt <table border="1"> <thead> <tr> <th>lon</th> <th>lat</th> <th>Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-111.601</td> <td>28.407</td> <td>26.800</td> </tr> <tr> <td>-111.601</td> <td>28.397</td> <td>27.000</td> </tr> </tbody> </table>			lon	lat	Value	-111.601	28.407	26.800	-111.601	28.397	27.000																																																	
lon	lat	Value																																																										
-111.601	28.407	26.800																																																										
-111.601	28.397	27.000																																																										

Figura 3.4. Transformación de los datos de archivos *.pnt a TSM.dat

El archivo *.dat se importó a Access como una tabla. Mediante una consulta de resumen se



promedian los valores de los puntos de una línea que se hayan generado por varias imágenes. Esto arrojó promedio de temperatura para cada punto en cada línea durante el período del segmento.

La tabla de temperaturas se almacena en la base de datos de cada tortuga con la estructura que se muestra en la tabla 3.4.

Nombre Campo	Tipo de Dato	Intervalo de datos	Formato	Descripción
ID_linea	Entero	0...N		Identificador y numero de segmento
ID_plinea	Entero	0...N		Orden del punto dentro de segmento
Lon	Flotante	-180...180	###.###	Longitud en grados decimales
Lat	Flotante	45...0	###.###	Latitud en grados decimales
RecNmbr	Entero	0...N		Numero continuo único para cada punto
TSM	Flotante	0...50	X.###	Promedio de la tempera del punto dado

Tabla 3.4. Estructura de la tabla de temperaturas para cada tortuga.

3.2.3) Procesamiento de Imágenes de Clorofila

Con el fin de organizar los archivos en los cuales se encuentran los listados de las imágenes existentes se diseñó una base de datos que contuviera la información necesaria para la organización y localización de las imágenes dentro del acervo. Partiendo de archivos de texto plano para Unix, se extrajeron atributos para cada imagen como fecha y hora de toma, localización en cintas, procesos aplicados a cada imagen, nombre del archivo y formato. El procedimiento fue similar al realizado para la Base de datos de imágenes NOAA, difiriendo principalmente en la estructura de las tablas originadas y un tratamiento que se aplicó al nombre de la imagen para extraer la fecha en formato AAMMDD. Esto se hizo ya que desde el almacenamiento, la fecha de toma tiene un formato AADDD, donde DDD es un índice de día a lo largo del año AA, esto para las imágenes anteriores al 2000. A partir del 2000 estas tienen un formato AAAADDD, por lo que mediante calendarios elaborados en hoja de cálculo se relacionaron los años y días, con año, mes, día del mes. La Base de datos resultante esta en formato Access. La figura 3.5 muestra un ejemplo de la tabla *Cintas*.



	Nom_archivo	año	día	nivel	índice	Cinta	Fecha
▶	S1999014181834.L1A_HUMX.Z	99	014	L1	1	L1L2_1.txt	99-01-14
	S1999014181834.L2_HUMX.Z	99	014	L2	2	L1L2_1.txt	99-01-14
	S1999015190221.L1A_HUMX.Z	99	015	L1	3	L1L2_1.txt	99-01-15
	S1999015190221.L2_HUMX.Z	99	015	L2	4	L1L2_1.txt	99-01-15
	S1999113192205.L1A_HUMX.Z	99	113	L1	5	L1L2_1.txt	99-04-23

Figura 3.5. Ejemplo de la tabla *Cintas*.

El campo *Nivel* indica que procesos se le han aplicado a las imágenes, siendo las L2 las que ya contienen los valores de clorofila y el campo *Índice* indica la posición de la imagen en la cinta.

Mediante un catálogo de imágenes que tiene el Instituto de Geografía de la UNAM en la página de Internet www.seawifs.unam.mx se valoró cuáles serían las imágenes útiles para cada derrotero de tortuga.

Una vez que se obtenía un listado de las imágenes necesarias de este conjunto, debían leerse y descomprimirse en una estación de trabajo bajo el sistema Unix que contara con un lector de cintas de 4 mm. Si las imágenes aún no se encontraban en el proceso L2 debían procesarse con el sistema SeaDas para Unix, para transformar valores de radiancia de las ocho bandas de las imágenes nivel L1, para obtener las imágenes L2. Posteriormente se almacenaban con formato HDF, sin embargo en el Laboratorio de SIG-PR gran parte de la colección se encuentra en formato de TeraScan.

Como muchas de las imágenes SeaWiFS de este acervo no cubrían el área necesaria, o estaban almacenadas para otro sistema (TeraScan), o por alguna razón estaban dañadas o simplemente no existían, fue necesario acudir al acervo de la NASA, Goddard Earth Sciences (GES) Data and Information Services Center donde se encuentra ubicado el Distributed Active Archive Center (DAAC).

El proceso de compilación se realizó por seguimiento de tortuga, pues el espacio necesario de almacenamiento en disco es considerable. En esta etapa se compilaban las imágenes necesarias para analizar un sólo seguimiento en la estación de trabajo de SeaDas, se procesaban y se almacenaban en medios externos. Se tomaron las imágenes precisas para cubrir los requisitos de tiempo y espacio para cada derrotero al periodo del segmento en cuestión con el mismo criterio utilizado para las imágenes de TSM (ver la sección anterior).



En el sistema SeaDas es posible desplegar una imagen, sobreponer un derrotero y obtener los valores de clorofila en cada celda a lo largo de este. Sobre las tablas de las tortugas se extrajeron latitud, longitud e ID de línea con formato de texto Unicode y extensión *.dat para que pudieran ser leídos por SeaDas mediante el modulo Tracking Ship. Para guardar las lecturas de Clorofila se especificó al sistema almacenar los datos obtenidos desde la línea N-1, siendo N el segmento de derrotero en análisis, hasta una línea más, lo que provoca que únicamente se lean las coordenadas inicial y final de dicho segmento.

El resultado fue un conjunto de archivos por cada derrotero de tortuga, haciendo imprescindible desarrollar un programa que uniera todos lo archivos del conjunto. De forma general este programa tiene la misma función que el de obtención de datos TSM, sin embargo en este caso se trabajó con un archivo con una estructura más complicada, en el cual debían buscarse y extraerse datos como ID, versión y resolución, estos últimos referentes a la cantidad de imágenes analizadas para un segmento y a la calidad de la imagen (ejemplo en la tabla 3.6).

Pixel	Line	Lat	Lon	Clo	Distance	Arch_origen	linea	version	Id_Plinea	Resol
1059	820	24.417	-112.071	14.9042	0	S1999203195552.L2_MLAC.x.hdf	1	z		1 M
1058	821	24.411	-112.101	13.0932	3.094	S1999203195552.L2_MLAC.x.hdf	1	z		2 M
1057	822	24.405	-112.131	1.75256	6.176	S1999203195552.L2_MLAC.x.hdf	1	z		3 M
1057	822	24.405	-112.131	1.75256	0	S1999203195552.L2_MLAC.x.hdf	2	z		1 M
1056	822	24.41	-112.157	0.888037	2.74	S1999203195552.L2_MLAC.x.hdf	2	z		2 M
1055	823	24.404	-112.187	0.696739	5.698	S1999203195552.L2_MLAC.x.hdf	2	z		3 M
1054	823	24.408	-112.213	0.472366	8.378	S1999203195552.L2_MLAC.x.hdf	2	z		4 M

Tabla 3.6. Resultado de correr el programa desarrollado sobre un conjunto de archivos.

Esta tabla se importó a la base de datos de la tortuga correspondiente y posteriormente se ejecutaron consultas en Access para promediar, de ser necesario, los valores de diferentes imágenes obtenidos para un mismo segmento. La tabla final de clorofila para cada derrotero se define como se muestra en la tabla 3.7.

Nombre Campo	Tipo de Dato	Intervalo de datos	Formato	Descripción
ID_linea	Entero	0 . . N		Identificador y numero de segmento
ID_plinea	Entero	0 . . N		Orden del punto dentro de segmento
Lon	Flotante	-180...180	###.###	Longitud en grados decimales
Lat	Flotante	45...0	###.###	Latitud en grados decimales
RecNmbr	Entero	0 . . N		Numero continuo único para cada punto
Clo	Flotante	0 . . 9.99999	X.#####	Promedio de la tempera del punto dado

Tabla 3.7. Estructura de la tabla de clorofila para cada tortuga.

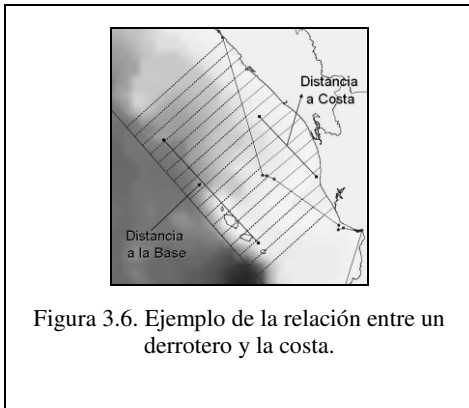


3.2.4) Obtención de los valores de Distancia a la Costa y Distancia a la Línea Base

Se asignaron atributos de distancia a la costa y distancia a la base con el fin de evaluar qué tanto una ruta costera y una ruta más corta pueden definir la trayectoria seguida por una tortuga a lo largo de sus movimientos migratorios. En los derroteros de alimentación de las tortugas *C. caretta* en la costa de Baja California únicamente se midieron las distancias a la costa.

Se diseñaron “líneas base”, que representan la ruta más corta entre el punto de partida y arribo de cada especie en sus migraciones, sin tocar tierra. Para esto se proyectaron los continentes involucrados en la migración de la tortuga negra y la caguama a una proyección Equidistante Azimutal, la cual conserva la distancia entre puntos. Posteriormente se crearon tres Shapes de líneas, uno con la ruta más corta para las tortugas negras que parten de Bahía de los Ángeles, resultando en una polilínea de cinco segmentos y 1600 Km. El siguiente shape se trazó para evaluar la ruta de la tortuga negra Xaviera, la cual partió de Bahía Juncalito, Baja California, resultando en una polilínea de cuatro segmentos y 1165 Km. Finalmente se trazó la ruta más corta entre el punto de partida de las tortugas en Baja California y Japón, con una sola línea de acuerdo al contorno de la tierra.

Se convirtió el trayecto completo de cada tortuga a puntos distribuidos regularmente cada 1500 m, a los que se asignó un valor de distancia a la costa, distancia a la línea base y un valor de batimetría. Esta conversión se realizó con la extensión “Poly conversión to spaced points” para ArcView 3.2a. Esta extensión requiere que se este trabajando con información con una proyección geométrica de la tierra asignada, por lo que antes fue necesario proyectar los derroteros.



Los archivos Shape con la línea de costa y cada una de las trayectorias en puntos cada 1500 m fueron agregadas a un documento de ArcView para ejecutar la extensión Nearest Feature (Jenness, 2004), con la cual se recuperaron los archivos Shape que contienen los puntos más cercanos a la costa, correspondientes a cada uno de los puntos cada

1500 m. Para obtener la distancia final a la costa tomando en cuenta la curvatura de la tierra se usó la extensión Path Find (Jenness, 2004b).

Para determinar la distancia hacia la línea base de *C. mydas* y *C. caretta* en migración, se usó el procedimiento anterior, con la diferencia de que se usaron archivos de línea base y los puntos cada 1500 m.

3.2.5) Batimetría

Para obtener los datos de batimetría se empleó el programa GEBCO 97 (General Bathymetric Chart of the Oceans Digital Atlas) mediante el cual se pueden obtener cartas batimétricas digitales con una resolución de 2'. Una vez que se especificaron las coordenadas de interés, las isobatas que se extraerán y los elementos de continente que serán incluidos, el programa guarda los datos en un formato de texto. En este caso se crearon tres cartas para los tres distintos tipos de derroteros: Golfo de California para *C. mydas* en migración, Costa Oeste de Baja California para *C. caretta* en área de alimentación y Norte del Océano Pacífico para la migración transpacífica de *C. caretta*. Se incluyeron todas las isobatas desde 50 m hasta mayores de 4500 m y se agregó la línea de costa del continente e Islas (isobata de los 0 m).

Para hacer uso de estos datos se elaboró un programa con el lenguaje de programación Visual Basic 6.0. Este programa lee del archivo generado por GEBCO 97 y a cada uno de los pares de coordenadas les asigna el valor correspondiente de profundidad y les define un identificador de isobata.



El nuevo archivo se importa al SIG ArcGis 9.0, como Shape de puntos. Este Shape sirvió de insumo para generar un Modelo Batimétrico donde, mediante interpolación de valores se representan datos con variación continua en el espacio construido a partir de series de valores espaciados irregularmente. Este proceso se realizó con el modulo 3D Analyst. Con fines de visualización se creó un archivo tipo raster con el módulo 3D Analyst de ArcGis 9.0 mediante una interpolación de superficie usando el método Natural Neighbors, el procedimiento más apropiado para datos distribuidos irregularmente, cada valor esta determinado por el de los puntos que lo rodean, tomando en cuenta la distancia mediante una triangulación donde tiene más influencia el punto más cercano a la celda en cuestión.

Se sobrepuso el trayecto de cada tortuga al MDE y se extrajeron los valores de la trayectoria cada 1500 m. Esto se realizó con la herramienta Surface Spot de ArcGis 9.0. El modulo arroja los resultados en un archivo DBF que se relacionó con la medición correspondiente de distancia a la costa y a la línea base. Esta relación se logró importando el archivo DBF a Access generando una consulta relacional de actualización mediante el campo ID (identificador único para los puntos cada 1500 m).

La tabla denominada Puntos 15 contiene atributos a los puntos cada 1500 m y se define como se observa en la tabla 3.8.

Nombre Campo	Tipo de Dato	Intervalo de datos	Formato	Descripción
ID	Entero	0 . . N		Identificador único para cada punto en todo el trayecto
ID_Linea	Entero	0 . . N		Identificador de línea a la que pertenece
ID_plinea	Entero	0 . . N		Posición del punto dentro del segmento especificado en ID_linea
Lon	Flotante	-180...180	###.###	Latitud en grados decimales
Lat	Flotante	45...0	###.###	Latitud en grados decimales
Batimetría	Flotante	0.0...	X.#####	Profundidad del piso oceánico en el punto
Distancia Base (migraciones)	Flotante	0.0...	X.#####	Distancia en Kilómetros a la línea teórica más corta
Distancia Costa(verdes)	Flotante	0.0...	X.#####	Distancia en Kilómetros al punto costero más cercano
Tiempo	Flotante	0.0...	X.#####	(duracion/n_med en puntos15)

Tabla 3.8. Estructura de la tabla Puntos15.



3.2.6) Estandarización de Bases de Datos

Se definieron consultas estandarizadas de todos los datos para cada uno de los derroteros.

Al finalizar toda la adquisición de datos se procedió a una limpieza de las bases de datos la cual consistió en:

- 1) Eliminar valores inválidos (Clorofilas de menos de 0.01 y mayores a 10 mg· m³ y TSM menores a 10°C).
- 2) Evaluar que no existieran datos faltantes o procesos erróneos.
- 3) Estandarizar todas las bases de datos para que no hubiese nombres de campos incompletos y que todas las tablas tuviesen el mismo nombre.

3.2.7) Análisis de Datos

Para realizar los análisis de datos, la información se organizó en tablas de Excel a fin de agrupar los datos por grupos especie-fase. Esta agrupación resultó en datos para *C. mydas* en migración, *C. caretta* en área de alimentación y finalmente para *C. caretta* en migración. Las tablas resultado del agrupamiento se exportaron al formato de datos para Statistica 6.0. En este programa se realizaron agrupamientos de datos en histogramas de TSM, Clorofila y Batimetría, Velocidad y desviación por cada tortuga por especie además de que se obtuvieron estadísticas como promedios, varianzas, cuartiles, mínimos y máximos para cada caso.

Los datos agrupados, fueron exportados de Excel a SPSS para Windows donde se realizaron los análisis multivariados para evaluar relaciones significativas entre variables con diferentes métodos. De esta forma se evaluaron los coeficientes de correlación, el análisis de regresión múltiple y finalmente el análisis de factores, todos estos para cada grupo de datos por especie-fase.

Los coeficientes de correlación se realizaron sobre variables categorizadas. La categorización se realizó mediante el modulo Recode del mismo SPSS dejando seis clases para clorofila, respetando los quiebres naturales de la distribución exponencial que esta



presenta al igual que para la batimetría. Se dejaron 10 categorías para TSM. La regresión múltiple se efectuó sobre los valores de TSM y batimetría tal cual, pero los valores de clorofila se convirtieron a su logaritmo natural. En este análisis se usó la Distancia a la Costa como variable respuesta y la TSM, Clorofila y Batimetría como variables independientes. Así mismo los análisis de factores también se realizaron sobre las variables TSM, clorofila y Batimetría con las unidades correspondientes.

Para obtener datos del ambiente circundante se generaron puntos aleatorios alrededor del sitio donde se localizaba la tortuga. Se obtuvieron hasta 33 pares de coordenadas aleatorias a distancias determinadas entre 1 y 100 Km. A estas coordenadas se les agregó la fecha codificada en días desde 1 hasta N y un consecutivo en el orden en que se obtuvo la posición de la tortuga (ID_linea). Se adquirieron valores de TSM y clorofila de imágenes correspondientes a la cronología de la posición de la tortuga, considerando así las variaciones inherentes al espacio y tiempo (época, estación del año). Esta adquisición se hizo de la misma forma en que se obtuvieron los datos de condiciones para las posiciones de cada tortuga.

Estos datos fueron organizados de tal forma que el programa PREFEMAR (Medrano, 2006) pudiese leerlos ya que requieren una estructura particular como se observa en la tabla 3.9.

Registro	Dia	Distancia(Km)	T(°C)	Ln(Clo)	Profundidad(m)
----------	-----	---------------	-------	---------	----------------

Tabla 3.9. Organización de los datos para el analisis.

La Clorofila se transformó a su logaritmo natural y la profundidad se presenta en metros enteros. Por la longitud de los archivos es necesario dividirlos y obtener promedios y desviaciones estándar de los valores de clorofila y TSM a lo largo del registro de la tortuga.

Se realizó un análisis con PREFEMAR (Medrano, 2006) para cada tortuga. Este análisis es un método para examinar las preferencias por las condiciones oceanográficas dadas, diseñado para trabajar con organismos marinos con marcas satelitales. De este análisis resultan valores de ΔX (X como una condición oceanográfica determinada), donde un valor positivo indica X mayor en el sitio de registro del organismo comparado con el promedio en la vecindad. La preferencia se define en términos de intensidad y alcance. La



intensidad puede medirse con los valores de predicción a las distancias 1, 10 y 100 Km reflejados en las variables *R1*, *R10*, *R100*, mientras que el alcance se define por la curva dada por *Rd* vs *d* integrada en el parámetro *m*.

El programa PREFEMAR (Medrano, 2006) generó un archivo donde se almacenaron los resultados como valores de la prueba de F y sus probabilidades asociadas como referencia de significancia estadística de las regresiones así como la siguiente información por cada registro de posición de tortuga:

- Número de registro.
- Día.
- Valores normalizados de TSM, clorofila y Profundidad.
- Anomalías locales de TSM, Clorofila y Profundidad.
- Pendiente de la regresión $\ln(Rd)$ vs $\ln(d)$ para la TSM (mTSM).
- R100, R10 y R1 para la TSM .
- Valor de la prueba F para la regresión lineal $\ln(Rd)$ vs $\ln(d)$ para la TSM (FTSM).
- Valores correspondientes de m, R100, R10, R1 y F para Clorofila .
- Valores correspondientes de m, R100, R10, R1 y F para Profudidad.



CAPÍTULO 4. Resultados

4.1) Resumen de Resultados Obtenidos

En total se reconstruyeron 1265 líneas que constituyen los más de 46, 000 Km recorridos por estas 10 tortugas marinas según se describe en la tabla 4.1. Para obtener los valores de temperatura en todas las posiciones de las tortugas se procesaron y analizaron en total 1,266 imágenes de temperatura AVHRR. Se trabajaron 2115 imágenes de clorofila OCTS, CZCS y SeaWifs, de las cuales se usaron 1407 ya que muchas de ellas resultaron en datos inválidos o con nubes cubriendo el área de interés. También se generaron tres modelos batimétricos para las zonas del Pacífico mexicano, Mar de Cortés y Océano Pacífico de los 15 a los 35° latitud Norte. Estos modelos se observan agrupados en la figura 4.1.

	Periodo de Rastreo	N Líneas	Distancia Total (Km)	Duración (Días)	Velocidad Promedio (Km·h ⁻¹)	Cant. Imágenes TSM	TSM Prom (°C)	Cant. Imágenes Clorofila	Clorofila Prom (mg· m ⁻³)	Especie-Fase
DJ Marisol Xaviera	Ene-May 97	76	2,395.4	109.0	1.46347	131	21.2	170	1.02330	<i>C. mydas</i> migración
	Nov 98- Ene 99	58	1,792.8	51.1	1.74972	177	21.7	64	1.90900	
	Sep – Oct 97	29	1,283.5	36.0	2.21753	93	30.2	10	0.18500	
Carla Hasekura Urashima Xiomara	Jul- Sep 99	128	5,662.2	464.5	1.18594	157	21	112	0.16997	<i>C. caretta</i> Alimentación
	Ago-Sep 99	64	2,990.0	264.0	0.80846	115	23	66	0.33666	
	Jul- Sep 99	29	879.2	48.0	1.07805	48	24	18	0.32674	
	Sep 97- Jun 98	245	3,664.2	267.9	1.63590	248	22	235	0.18100	
Adelita Lupita Yamilet	Ago 96- Ago 97	358	13,759.5	360.0	2.11878	118	24	607	0.07000	<i>C. caretta</i> Migración
	Jul – Oct 98	138	1,872.6	96.9	1.16416	63	23	23	0.09300	
	Ago- Sep 99	140	11,774.6	527.9	1.12438	116	21	102	0.09200	
Total		1265	46,074	2,225.3	14.55	1,266				

Tabla 4.1. Resumen de datos de condiciones oceanográficas en 3 tipos de especie-fase

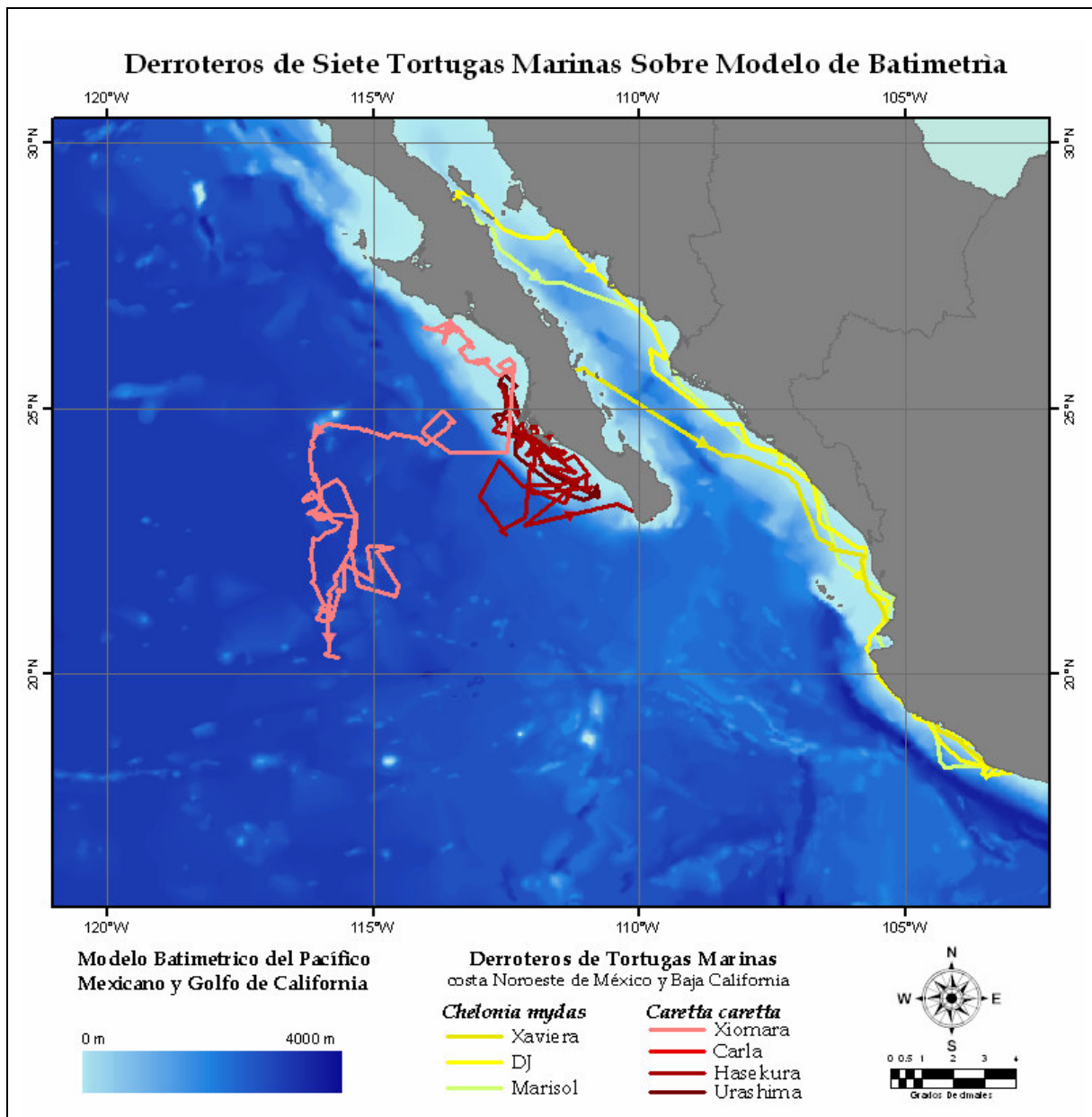


Figura 4.1. Modelo digital de piso oceánico para la zona del Pacífico mexicano

4.2) Estadísticas Básicas

4.2.1) *C. mydas* en Migración

Para su análisis, las 10 tortugas se agruparon según su especie-fase en *C. mydas* en migración, *C. caretta* en área de alimentación y finalmente *C. caretta* en Migración. De las



tres tortugas negras que se estudiaron, se reconstruyeron 151 segmentos de línea (76 de DJ, 67 de Marisol y 28 para Xaviera).

TSM

Los valores de temperatura obtenidos se resumen en las estadísticas de la tabla 4.2.

	N	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	25%	75%	Desv_Est.
DJ	1717	22.01	21.2	15.5	29.7	18.2	26.0	4.09373
Marisol	1241	22.33	21.7	17.0	28.1	20.2	24.2	2.55215
Xaviera	611	31.08	31.40	22.80	33.00	30.50	31.90	1.44431
General	3569	25.14	24.77	18.43	30.27	22.97	27.37	2.69673

Tabla 4.2. Estadísticas básicas de TSM para *C. mydas* en migración.

Se obtuvieron un total de 3569 valores de temperatura para las tres tortugas negras. De estos valores el 50% estuvieron localizados entre los 20 y los 25°C. Cada tortuga presenta una distribución distinta entre si. Por un lado la temperatura en el derrotero de DJ, siendo la que más variabilidad presenta, tiene una forma bimodal, dividida en el conjunto de temperaturas menores a 22°C y otro de las mayores a 25°C, (desviación estándar 4.09). Por otro lado, La migración de Marisol que sucede entre los 19 y 25°C principalmente y por último Xaviera, donde las temperaturas son mucho mayores que en las otras dos, con temperatura centrada a los 31°C y sin gran variación (figura 4.2).

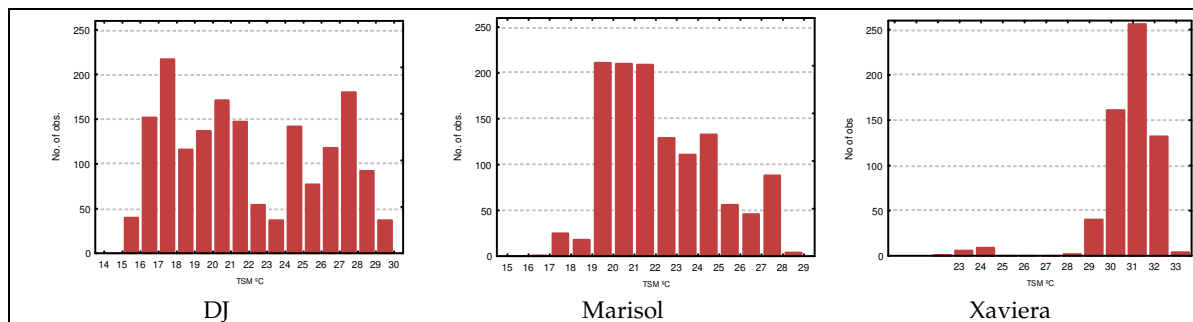
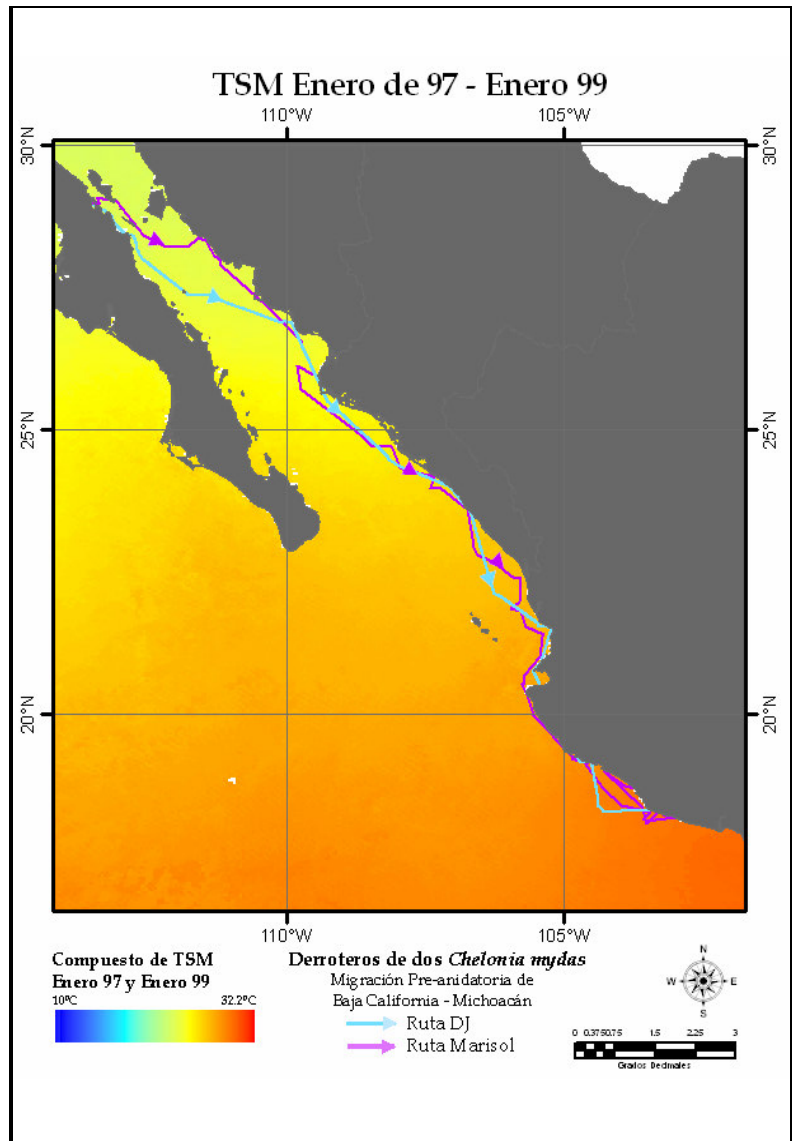
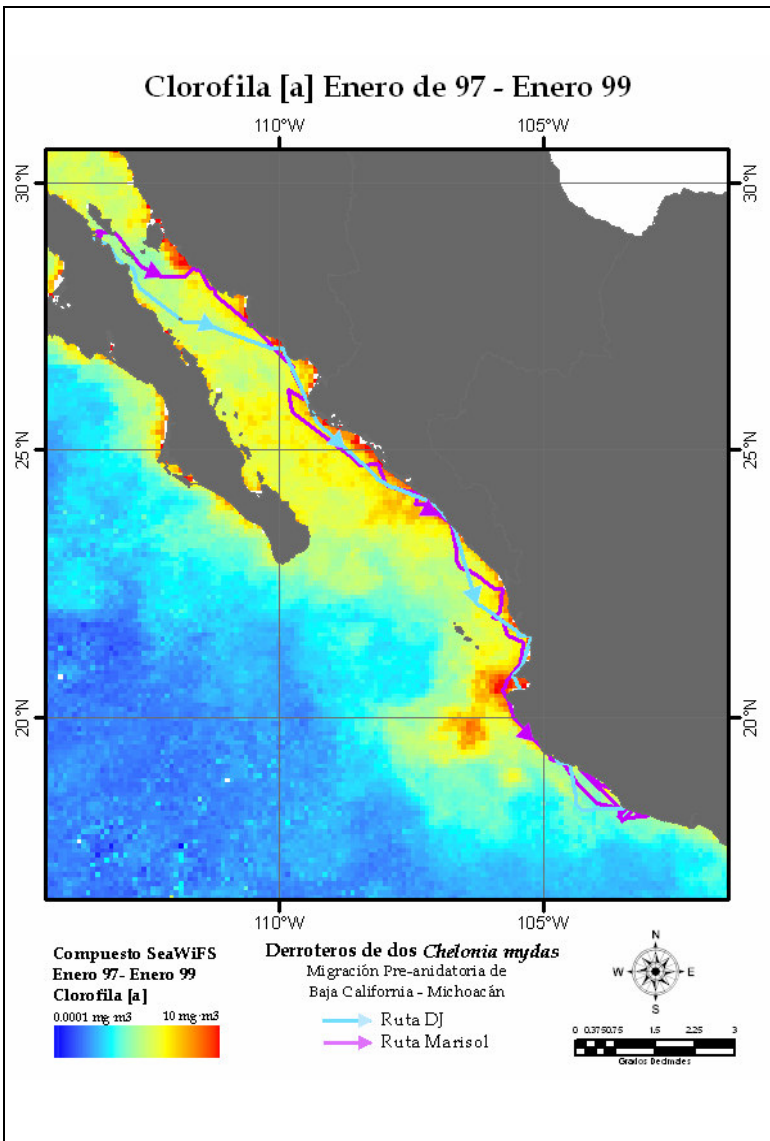


Figura 4.2. Histogramas de TSM para *C. mydas*

En la figura 4.3 se observan imágenes de promedios de enero de 1997 de clorofila y TSM que cubren el derrotero completo de dos tortugas negras, DJ y Marisol. En la imagen de clorofila *a* se pueden apreciar zonas típicas de alta producción a lo largo de la costa continental del Golfo de California y las surgencias, plumas y giros generados alrededor de Cabo Corrientes. En la imagen de TSM se aprecia una distribución general de la TSM, con temperaturas menores al norte que aumentan sistemáticamente hacia el sur.

Figura 4.3. Promedios de temperatura y clorofila para dos *C. mydas*.





Clorofila

Para obtener las 315 mediciones de clorofila validas en el derrotero de DJ se analizaron 170 imágenes OCTS. Para el derrotero de Marisol se procesaron 64 imágenes de color SeaWiFS para obtener 1131 valores de clorofila. En Xaviera se extrapolaron valores obtenidos de imágenes OCTS y de imágenes SeaWiFS del periodo que comprende la migración, con 489 valores obtenidos. Los siguientes histogramas muestran un resumen de los valores de clorofila *a* en los tres casos. Debido a la forma exponencial en que se distribuye la clorofila, los valores fueron agrupados en siete clases (figura 4.4).

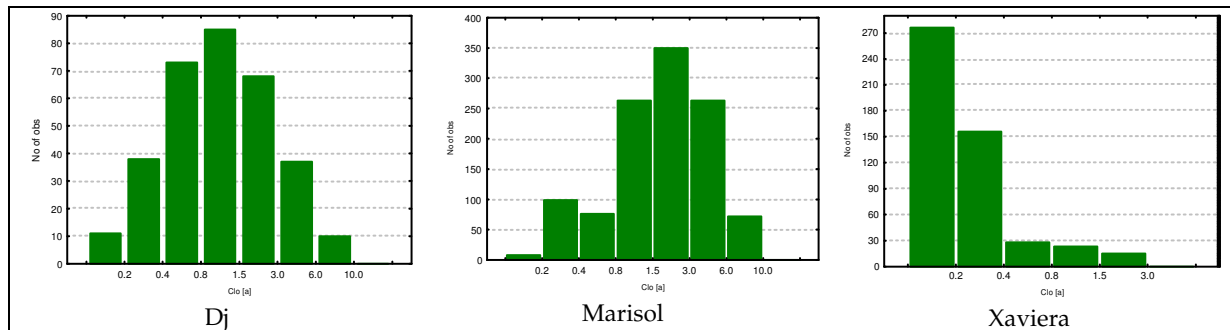


Figura 4.4. Histogramas de Clorofila *a* para *C. mydas*

En las dos primeras tortugas la distribución de la clorofila es similar, donde las medianas (1.0233 y $1.9090 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) exhiben valores significativamente altos a lo largo de estos derroteros, lo que es reforzado por los valores en los cuartiles del 25 y 75%. La mediana de clorofila presentada en el viaje de Marisol es mayor y cargada a la derecha, lo que significa que estuvo en zonas y temporada con más alta productividad que Dj. En Xaviera se observan valores de clorofila con un sesgo bien definido hacia la izquierda, lo que refleja como los valores están agrupados principalmente entre 0.1420 y $0.276 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ y una mediana ubicada en el primer conjunto de datos (0.299444), esto es, valores muy bajos comparados con los de las dos tortugas anteriores (tabla 4.3).

	N	Mediana	Mínimo	Máximo	25%	75%	Desv_Est.
DJ	322	1.0233	0.010000	9.333	0.58884	2.1878	1.6769
Marisol	1131	1.9090	0.175999	9.621	1.00900	3.2880	1.8974
Xaviera	498	0.299444	0.184998	0.053999	2.301	0.141998	0.117927
General	1951	1.07724	0.123665	6.336	1.29961	1.8726	1.2307423

Tabla 4.3. Estadísticas básicas de la clorofila para *C. mydas* en migración.



Batimetría

En el análisis de batimetría se observa que las tortugas estuvieron sobre profundidades desde los 0 m en la línea de costa hasta zonas profundas de 3000 m. La mayoría (67%) de estos datos esta en la zona somera con profundidades menores a 300 m. El resto se encuentra diseminado a lo largo del intervalo sin mostrar algún patrón (figura 4.5).

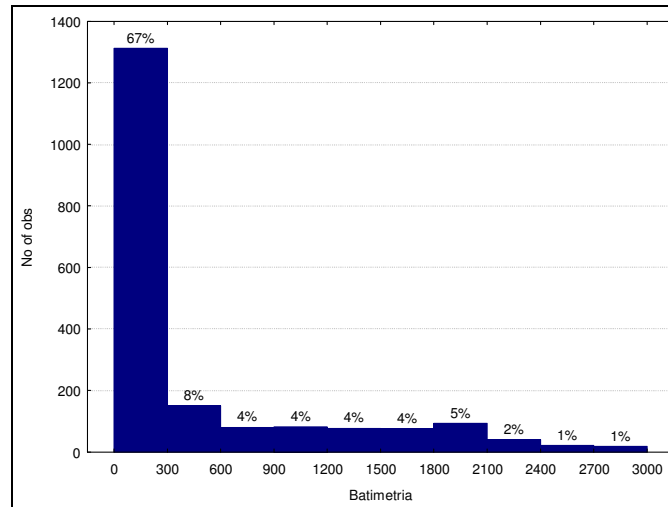


Figura 4.5. Histograma de Batimetría para las migraciones de tres individuos de *C. mydas*

A fin de evaluar esta distribución en relación con la característica del fondo, en términos conceptuales y no numéricos, se agruparon los valores en: zona somera, plataforma continental, zona profunda y zona muy profunda (tabla 4.6).

	Nombre Categoría	Nivel de Profundidad
1	zona somera	0-50 m
2	plataforma continental	50-200 m
3	zona profunda	200-1000 m
4	zona muy profunda	> 1000

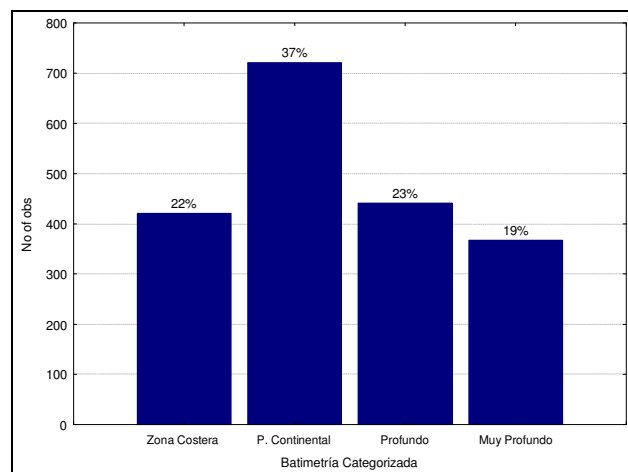


Figura 4.6. Histograma categorizado de batimetría para las migraciones de 3 individuos de *C. mydas*.



Con este histograma categorizado (figura 4.6) resalta el hecho de que las tortugas *C. mydas* durante su migración pasan más de la mitad del trayecto sobre la plataforma continental, donde sólo el 22% del recorrido en aguas someras (menores a 50 m de profundidad) y el 42 % de las ocasiones en zonas profundas mayores a los 200 m.

4.2.2) *C. caretta* en Zona de Alimentación

TSM

Las temperaturas que se observan en las cuatro tortugas pertenecientes a esta especie-fase (Figura 4.7) son más estables que el caso anterior. Existe un promedio más constante centrado en 22.65°C y menor variabilidad (desviación estándar 2 °C). En la mayoría de los casos el 50% de los datos esta agrupado entre los 21 y 24°C, con una distribución normal, excepto en el derrotero de Carla donde se aprecian temperaturas más frías y mayor dispersión de los datos que el resto. Urashima presenta temperaturas mayores, con el histograma sesgado a la derecha, sin embargo es en la cual se recabaron menos datos (716 tomas de temperatura). Xiomara y carla presentan los derroteros más largos, presentando la mayor amplitud de temperatura, no obstante, la temperatura en Xiomara a diferencia de Carla presenta una estructura bimodal con un pico pronunciado a los 22°C acorde con el promedio de TSM para *C. caretta* en área de alimentación.

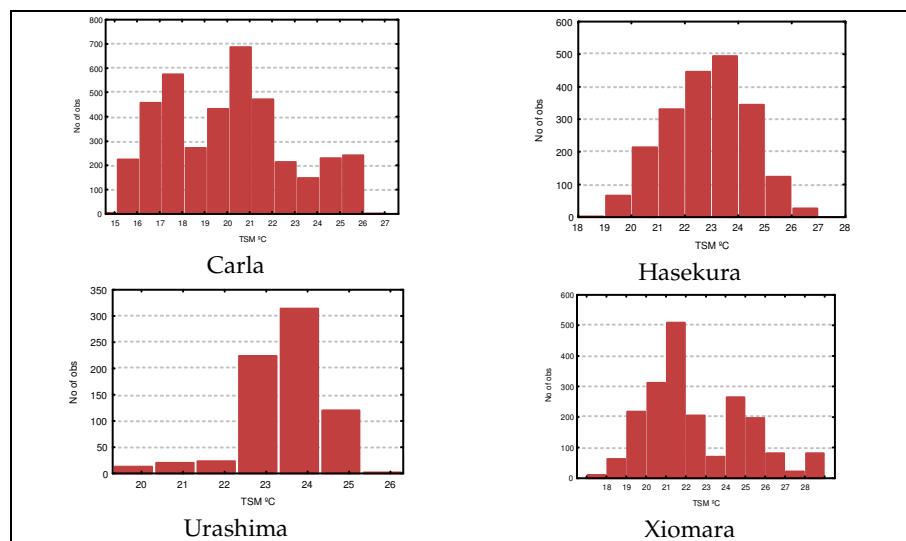


Figura 4.7. Histogramas de TSM para *C. caretta* en área de alimentación



	N	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	25%	75%	Desv. Est.
Carla	3957	20.92	21.00	15.40	27.50	18.30	22.70	2.806301
Hasekura	2049	22.87	23.00	18.97	26.77	21.77	24.00	1.524887
Urashima	716	24.14	24.32	20.20	26.12	23.63	24.83	1.00748
Xiomara	2033	22.65	21.90	17.20	30.90	20.80	24.80	2.678327
General	8755	22.65	22.55	17.94	27.82	21.13	24.08	2.00

Tabla 4.4. Estadísticas básicas de TSM para *C. caretta* en alimentación.

Clorofila

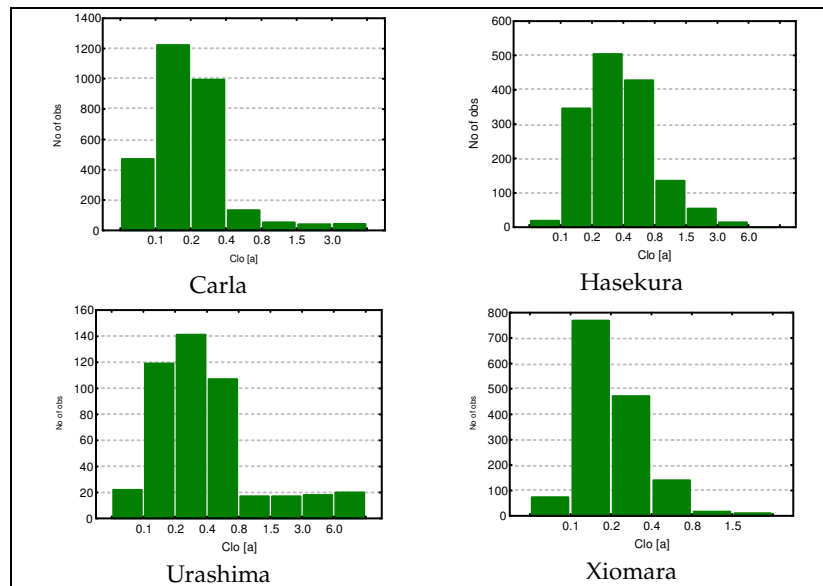


Figura 4.8. Histogramas de Clorofila para *C. caretta* en área de alimentación

En los histogramas de la figura 4.8 se graficaron los más de 6 000 valores de clorofila obtenidos para *C. caretta* en fase de alimentación. Las categorías están organizadas de la misma forma que en la especie fase anterior. En estas figuras, se observa que en los cuatro derroteros se concentran los datos alrededor los 0.4 mg·m⁻³ con un histograma concentrado entre los valores de clorofila de 0.1 y 0.4 mg·m⁻³ y ligeramente sesgado a la derecha, es decir con una minoría de datos mayores a 0.8 mg·m⁻³. La media, varianza y desviación estándar se ven incompatibles debido a la naturaleza de distribución logarítmica que tiene la clorofila, aunque se puede ver en su mediana que están centrados en 0.25 mg·m⁻³. Hasekura y Urashima presentan concentraciones de clorofila más altas con medianas de 0.33 mg·m⁻³ (tabla 4. 5) mayores que el promedio general de esta especie-fase.



Durante el análisis se observó que estas tortugas tuvieron una incidencia repetida sobre zonas altamente productivas llegando a pasar largos periodos de tiempo dentro de estructuras oceánicas como frentes y giros propios de la zona, caracterizados por gradientes abruptos de clorofila y temperatura.

	N	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	25%	75%	Desv_Est.
Carla	2956	0.334434	0.169974	0.001	9.63999	0.115168	0.28517	0.842869
Hasekura	1499	0.490672	0.336664	0.00895	4.867	0.202116	0.56625	0.519332
Urashima	461	0.90213	0.32674	0.0386	9.7228	0.138	0.524	1.80768
Xiomara	1481	0.24545	0.180998	0.011	3.12	0.135998	0.289	0.221918
General	6397	0.49317	0.25359	0.0149	6.8375	0.14782	0.4161	0.84795

Tabla 4.5. Estadísticas básicas de la clorofila para *C. caretta* en alimentación.

En la imagen de clorofila *a* (figura 4.9) se observan los manchones de clorofila característicos para el mes de septiembre. Esta imagen es un compuesto de septiembre de 1999, donde se sobrepusieron los derroteros de las *C. caretta* en zona de alimentación.

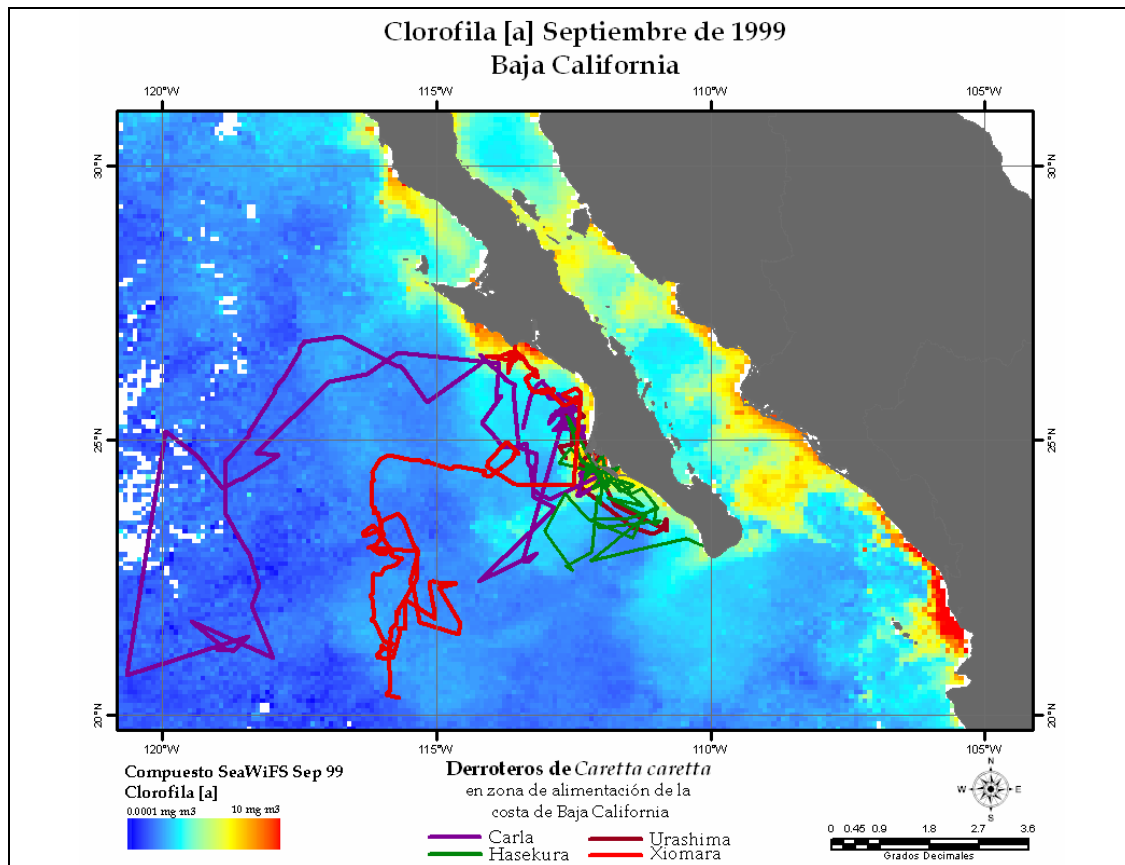


Figura 4.9. Distribución de clorofila durante septiembre de 1999.



En lo que respecta a la batimetría no se muestra ningún patrón evidente ya que todos los valores de profundidad están repartidos prácticamente de forma aleatoria, con valores desde los 0 m de profundidad hasta más de 4000 m sin ninguna forma de preferencia, como en la grafica de profundidad en Hasekura (figura 4.10).

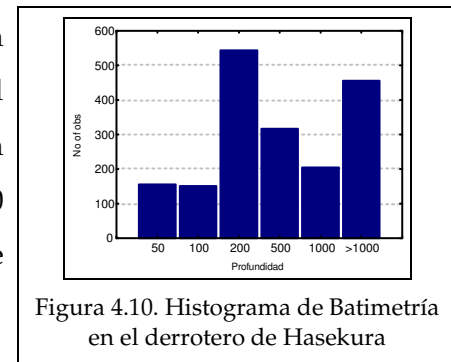


Figura 4.10. Histograma de Batimetría en el derrotero de Hasekura

4.2.3) Migración Transpacífica de *C. caretta*

TSM

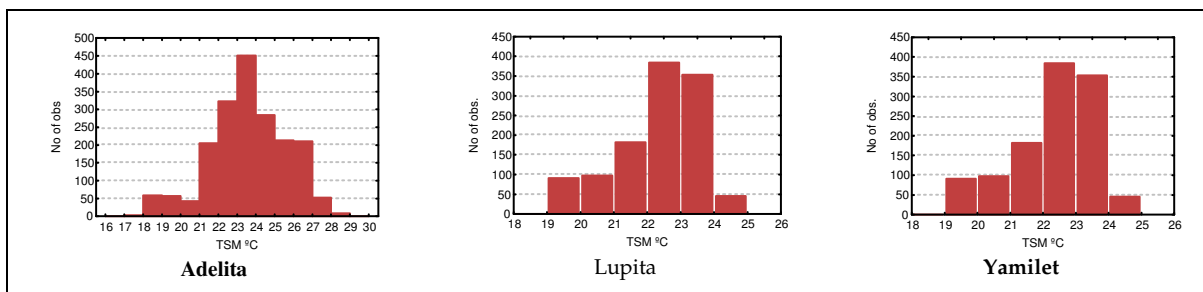


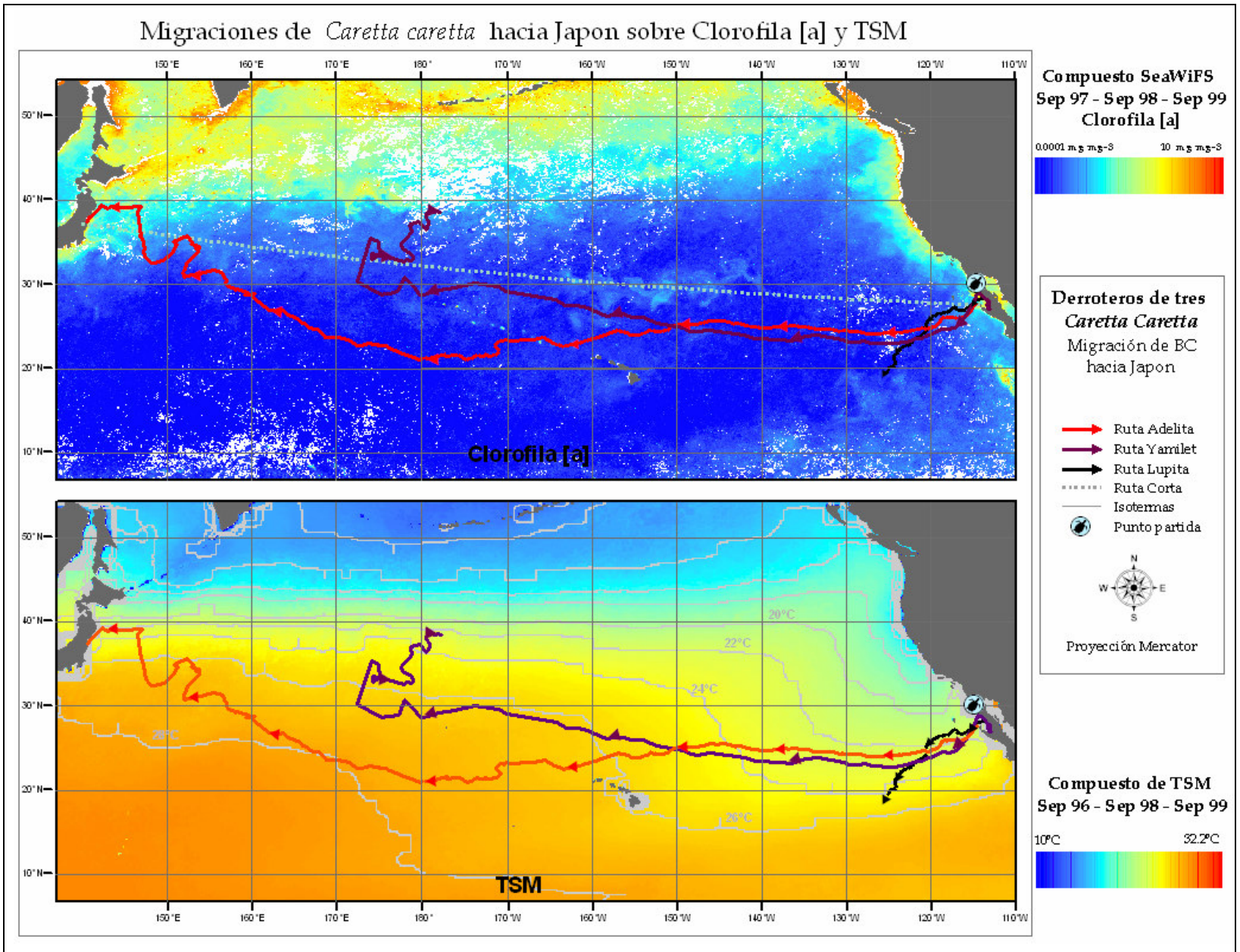
Figura 4.11. Histogramas de TSM para *C. caretta* en migración transpacífica

Para las tortugas *C. caretta* en migración transpacífica (figura 4.11), la distribución de la temperatura es clara (figura 4.11), con una media general de 22.97°C con una desviación estándar de 1.88°C, en los 5420 registros de TSM. La forma del histograma indica que se pueden encontrar en temperaturas frías, pero sólo en contadas ocasiones prefiriendo temperaturas por encima de los 21°C (cuartil 25%). Yamilet en su desplazamiento hacia el Norte, registra temperaturas de 15 a 19°C. Por otro lado Adelita registra temperaturas elevadas de más de 27°C (tabla 4.6). En general la temperatura está bien definida en zona semicálida de entre 21 y 24°C, a pesar de su gran migración, donde podrían enfrentar zonas frías.

	N	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	25%	75%	Desv. Est.
Adelita	1907	23.63	23.63	17.63	28.80	22.43	25.10	2.049011
Lupita	1154	22.31	22.50	19.15	24.80	21.65	23.30	1.260817
Yamilet	2359	23.21	20.90	14.60	25.14	19.88	22.08	2.3209
General	5420	22.97	22.34	17.13	26.25	21.32	23.49	1.876909

Tabla 4.6. Estadísticas básicas de la TSM para *C. caretta* en migración transpacífica.

Figura 4. 12. Clorofila y TSM del Océano Pacífico Norte.





Clorofila

Por el hecho de que este tipo de migraciones realizadas por tortugas caguamas son a través del Pacífico, la distribución de clorofila observada en cada derrotero es distinta de los otras especie-fase, ubicándose principalmente entre 0 y 0.2 mg·m⁻³, con una media general de 0.1573 mg·m⁻³. A diferencia de lo que se esperaría, los datos no corresponden a valores nulos de clorofila, si no que dentro de los límites de mar abierto existen valores significativos y incluso mayores al 0.1 mg·m⁻³ en donde no se esperarían. En el caso de Yamilet se obtuvieron 3 242 mediciones, de las cuales el 45% son mayores a 0.2 mg·m⁻³, buen indicativo de un área de alta producción en el océano (figura 4.13).

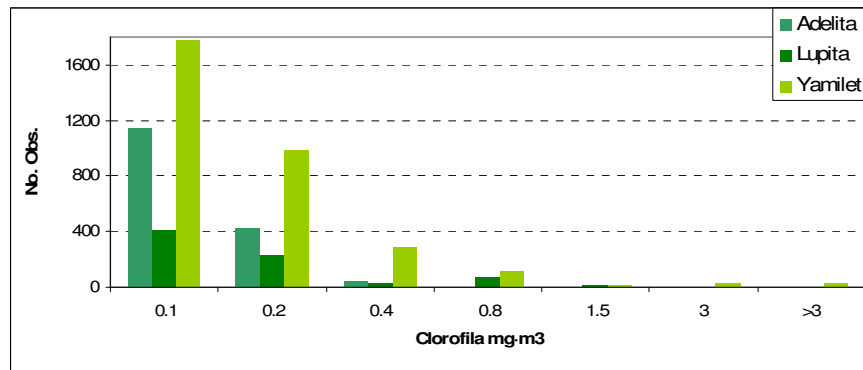


Figura 4.13. Histograma de Chl_a para las 3 *C. caretta* en migración traspacífica

Para el caso de la migración traspacífica, la batimetría reporta principalmente, como se espera, profundidades mayores a 4000 m, con excepciones lógicas cerca de la costa.

4.2.4) Distancia a la línea base y distancia a la costa

De las variables distancia a una línea base y distancia a la costa, se observó que en la primera presenta una distribución muy similar a lo que se observa en la batimetría por su relación lógica con la topografía. Cabe resaltar para el caso de *C. mydas*, las distancias a la costa son en el 70% de los casos mayores a 10 Km llegando hasta 100 Km lejos de la costa. También es notable que en las migraciones para ambas especies la distancia que separa la línea base de la ruta que se siguieron las tortugas, alcanza valores de 1 400 Km en *C. caretta*



(figura 4.14) ya que desde que inician su recorrido se separan de esta ruta corta dirigiéndose primero al Sur para posteriormente tomar al Oeste, recorriendo en promedio 7600 Km más que si siguiese por la línea base (longitud de 6 120 Km).

El caso de tortuga negra, muestra mayor tendencia a estar cerca de la costa que tomar una ruta corta, pues aunque tan sólo llega a estar alejada 140 Km de esta línea, su trayecto recorrido le implica 800 Km extras recorridos en el caso de DJ (ruta más corta seria de 1600 Km, salvando la parte continental) (figura 4.14).

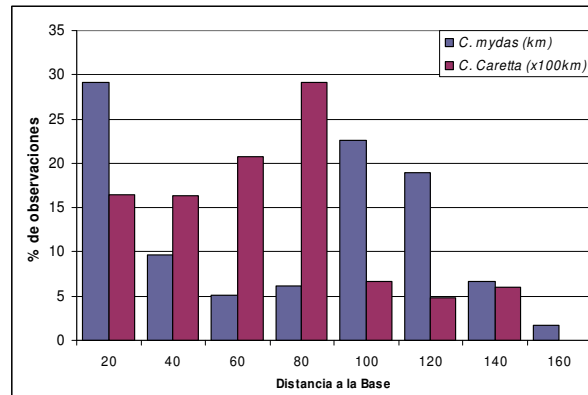


Figura 4.14. Distancias entre la posición y la línea base.

Por su parte *C. caretta* en área de alimentación, mantiene una tendencia semicostera con el 55% de los casos entre 1 y 100 Km alejada de costa. Si bien estas tortugas habitan dentro de una zona cercana al continente, estas pueden llegar a alejarse más 600 Km, como en el caso de Xiomara.

4.3) Relaciones Multivariadas

La siguiente fase del análisis de resultados implica evaluar las posibles relaciones significativas entre variables con diferentes métodos. En la tabla 4.7 muestra las correlaciones más significativas entre las variables para la migración de *C. mydas*. Este se evalúa mediante el coeficiente de correlación de Pearson con las variables categorizadas. Sin embargo, sólo es posible establecer pocas relaciones lineales entre las variables.

	Correlación de Pearson			
	TSM	Clorofila	Batimetría	Dist.Costa
TSM	1.000	-0.763	0.255	0.214
Clorofila	-0.763	1.000	-0.451	-0.380
Batimetría	0.255	-0.451	1.000	0.595
Dist.Costa	0.214	-0.380	0.595	1.000

Tabla 4.7. Correlaciones entre variables *C. mydas* (n=1817).

La relación más significativa se establece entre la TSM y la Clorofila (-0.763) de forma negativa, mientras que la batimetría contra la clorofila apenas alcanza una relación negativa de 0.451, de forma que el



resto de las relaciones divariadas se descartan por ser estadísticamente no significativas (<0.5) para este conjunto de datos.

En cambio *C. caretta* (alimentación y migración) presenta una única relación significativa, posiblemente circunstancial entre la clorofila y la distancia a la costa (0.751) (tabla 4.8).

Correlación de Pearson				
	TSM	Clorofila	Batimetría	Dist.Costa
TSM	1.000	0.020	-0.401	-0.169
Clorofila	0.020	1.000	-0.269	-0.218
Batimetría	-0.401	-0.269	1.000	0.751
Dist.Costa	-0.169	-0.218	0.751	1.000

Tabla 4.8. Correlaciones entre variables *C. caretta* (n=7029)

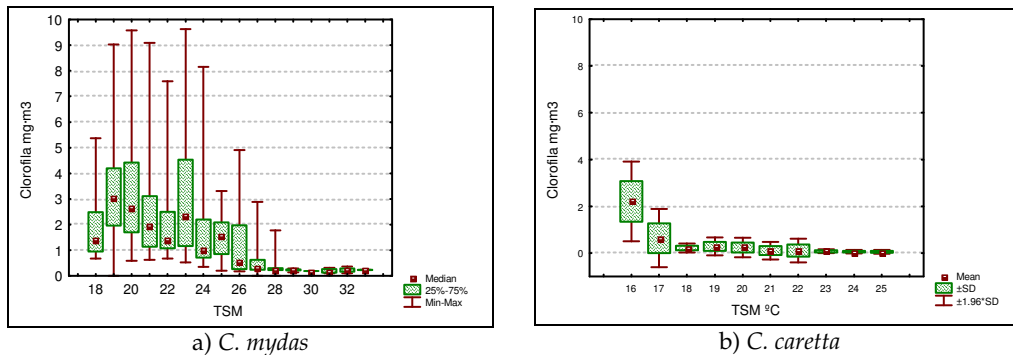


Figura 4. 15. Diagrama de caja y bigote de Clorofila/TSM para las tortugas en migración.

En las migraciones de ambas especies se observa (figura 4.15) como en las temperaturas menores la cantidad de clorofila es mayor, mostrando la posibilidad de uso de temperaturas bajas por abundancia de clorofila, mientras que en las temperaturas mayores la clorofila se presenta únicamente en concentraciones bajas. Es muy claro cómo las temperaturas más bajas se registran los mayores valores de clorofila, a diferencia de las temperaturas más altas, especialmente arriba de los 24°C donde los valores de clorofila se presentan muy compactos y bajos.

Posteriormente se realizaron una serie de análisis multivariados. Se efectuó una regresión múltiple (stepwise) con el fin de encontrar que variables pronostican mejor la posición de una tortuga tomando la distancia a la costa como descriptor para cada especie-fase, es decir, cual es el mejor predictor de la variación de la distancia a la costa de una tortuga.



Sólo el análisis realizado sobre *C. mydas* en migración resultó en un modelo suficientemente explicado, como se observa en la tabla 4.9.

R= .72354954 R²= .52352394 R² ajustada= .52273551			
	B	t(1813)	p-level
Intercept	3.10255	1.19904	0.230668
Batimetria	0.01796	31.74659	0.000000
Clo	-1.85588	-7.93012	0.000000
TSM	0.67751	6.88681	0.000000

Tabla 4.9. Análisis de regresión múltiple para la variable DistanciaCosta de *C. mydas*.

Los coeficientes de regresión (B) representan las contribuciones independientes de cada variable en la predicción de la variable dependiente, por lo que se observa que la contribución mayor en la predicción de la distancia a la costa la hace la clorofila de forma negativa, le sigue la TSM y finalmente la batimetría, ambas relacionadas positivamente con la Distancia a la costa. Extrayendo los coeficientes para cada variable y la intersección, se obtiene la formula:

$$\text{Distancia_Costa} = 3.10255 + 0.01796 * \text{Batimetria} - 1.85588 * \text{Clo} + 0.67751 * \text{TSM}$$

Se tiene una R cuadrada de **0.52352** por lo que podemos decir que la variabilidad de los valores alrededor de la línea de regresión es de 0.47648 la varianza original, es decir que con este modelos se explica el 52.35% de la variabilidad original y que el resto es variabilidad residual (desviación de la línea de regresión o valor esperado). El grado en que las variables predictoras están relacionados a la variable Y esta expresado con una **R = 0.72354954**. Al estudiar el análisis stepwise paso a paso se observa como la batimetría fue la primera en ser incluida arrojando una R de 0.6866. Posteriormente se agrega la Clorofila, la cual mejora el modelo en 0.039545 y por último se incluye a la TSM la cual acaba de mejorar el modelo en 0.0124 (R-cuadrada). Lo anterior indica que la variable clorofila esta correlacionada con la distancia a la costa después de controlar la batimetría y que la temperatura influye en la posición una vez que esta controlada la batimetría y la clorofila disponible.

Con un análisis de factores se identificó un número relativamente pequeño de componentes que explicaron el máximo de variancia total de este grupo de datos (*C. mydas*



en migración) y que puedan ser utilizados para representar la relación existente entre las variables intercorrelacionadas. Se verificó que no se tuviera una matriz de identidad y que el ajuste KMO (prueba Kaiser-Meyer-Olkin que indica si el análisis de factores será de utilidad) de 0.7 y MSA (la misma prueba KMO para cada variable) indicaran una buena explicación de las variables entre si, así como las matrices anti-imagen de covariancias y correlaciones tuviesen coeficientes aceptables. Todas las evaluaciones llevaron a la conclusión que el análisis factorial resultaría pertinente. Con dos factores dentro del modelo es suficiente para explicar el 80.49% de la variabilidad total, lo cual es un porcentaje bastante aceptable. En la grafica de la figura 4.16 se observan los factores y su respectivo valor propio.

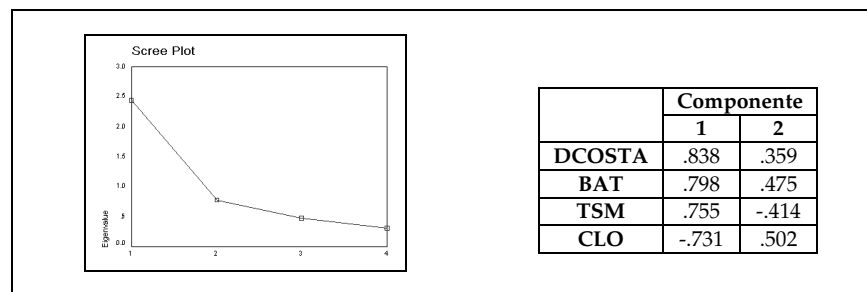


Figura 4.16. Factores y valor propio en el análisis de factores

Los coeficientes utilizados para expresar cada variable en términos de los dos factores del modelo (pesos factoriales o ponderaciones) indican la carga de cada variable en cada factor. En la tabla (Figura 4.16), en la columna del primer componente se aprecia el orden en que las variables tienen influencia o peso sobre el componente (61.05% de la variabilidad explicada por este componente), sin embargo la diferencia de peso que existe entre ellas no es significativa, por lo que se puede decir que todas las variables modifican de la misma manera al primer componente. Es importante señalar en especial el comportamiento de la clorofila ya que en el primer componente tiene signo negativo mientras que en el segundo componente es la variable que tiene la más elevada carga factorial. Mediante las comunalidades podemos evaluar que la variabilidad de cada variable explicada por los dos componentes es bastante aceptable, pues en todos los casos es mayor al 70% o incluso hasta el 86% de la variabilidad explicada en el caso de la batimetría. Cabe resaltar que la correlación estimada entre las variables TSM y CLO es muy fuerte.



Este mismo análisis se realizó también para *C. caretta* en alimentación, en este caso al igual que con el grupo anterior, las pruebas de efectividad indicaron que el análisis resulta pertinente, con un determinante de la matriz bajo (0.31) y la prueba de Bartlett indicando que no es una matriz de identidad, sin embargo el índice KMO advierte que es posible que los resultados no sean del todo satisfactorios y que la TSM no quede tan bien representada en el modelo. Los coeficientes MSA, que representan KMO para cada variable por separado, son medianamente aceptables, indicando que la clorofila será la variable mejor constituida.

Los porcentajes individuales y acumulados de la variancia total explicada por cada factor indican que con dos factores dentro del modelo se puede explicar prácticamente el 76% de la variabilidad total.

	Componente	
	1	2
BAT	.916	.169
DCOSTA	.800	-.306
TSM	-.685	-.527
CLO	-.241	.807

Tabla 4. 10. Matriz de peso factorial por componente

Los pesos factoriales o ponderaciones (tabla 4.10) indican cómo el primer componente esta influenciado principalmente por la batimetría y la distancia a la costa, estas variables entonces son las que más contribuyen a la variabilidad de los datos en el primer componente

(51%) por lo que se dice que la batimetría y en segundo lugar la distancia a la costa, saturan el modelo en el primer componente. El segundo componente esta definitivamente determinado por la clorofila con una participación mayoritaria de 0.807 y en segundo lugar la TSM (24.91%).

En este caso el porcentaje explicado por los dos factores es mayor al 70%, siendo la batimetría la mejor explicada con este modelo ya que con dos factores se esta representando el 86.7% de su variabilidad, seguida por la clorofila, que para fines de este estudio es importante esta representación de 73.4%.



4.4) Respuesta de Velocidad y Desviación a las Condiciones Oceanográficas

Los datos acumulados de velocidad están distribuidos de forma normal en cada especie-fase, siendo la parte central las velocidades entre 1.53 y 2.22 Km·h⁻¹ (cuartiles 1 y 3) por lo que la grafica se muestra cargada a la derecha (figura 4.17). Esto es que dentro del intervalo conocido de velocidad, estas tortugas optan por viajar preferentemente “rápido”. La velocidad de *C. mydas* en migración es en promedio 1.97 Km·h⁻¹ de las cuales DJ es de éstas la que viaja más lento entre 0.5 y 1.5 Km·h⁻¹. Por otro lado, Xaviera se desplaza principalmente a más de 2 Km·h⁻¹, sin presentar movimientos por debajo de 1 Km·h⁻¹.

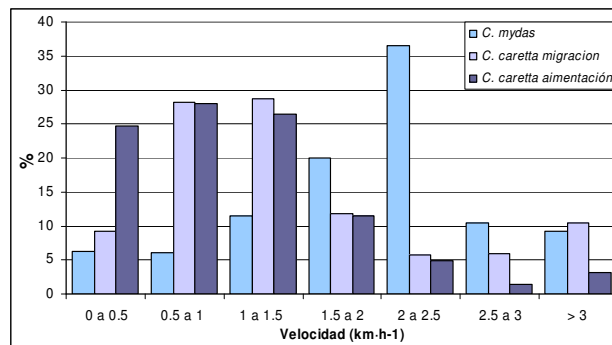


Figura 4.17. Histograma de velocidad de desplazamiento en 3 especie-fase

En comparación de los 3 tipos de especie-estadio, *C. mydas* se desplaza (promedio aproximado) 1 Km·h⁻¹ más rápido que *C. caretta* durante sus migraciones. Sin embargo, estas últimas realizan su desplazamiento de forma más directa con desviaciones menores y relativamente pocas desviaciones grandes. Es clara la diferencia que existe entre la dirección de los movimientos entre tortugas migrando hacia sus áreas de reproducción y las que se encuentran vagabundeando en su área de alimentación. En este caso *C. caretta* en costas de Baja California no presentan movimientos en alguna dirección en especial. *C. caretta* tiene un movilidad similar, independiente de su estadio ya que se desplaza principalmente entre 0.5 y 1.5 Km·h⁻¹, exceptuando que las que se están alimentando pueden desplazarse muy lentamente y las que se encuentran migrando llegan a moverse a gran velocidad. La diferencia de velocidad entre estas es de apenas 0.3 Km·h⁻¹, excepto que



las que migran presentan pocos desplazamientos lentos ($<0.5 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$) y las que están en área de alimentación presentan más variedad en su velocidad. La gran mayoría de los desplazamientos de las caguamas alimentándose se realizan en velocidades menores a $1.5 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$, con un promedio de velocidad de $1 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$. y son escasos los registros que impliquen velocidades superiores a $2 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$ al moverse. Por el tipo de estadio de estas tortugas (alimentación), no requieren movimientos con una dirección en particular.

De manera general las tortugas migradoras se desplazan de forma bien orientada con el 50% de los movimientos realizados en ángulos menores a 30° . Sin embargo, no se desprecia el hecho que el 50% restante son movimientos con desviaciones mayores, especialmente en la tortuga negra. *C. mydas* tienen el 23% de los datos entre 30 y 60° de desviación y los valores centrados entre 14 y 67° . Marisol es la tortuga que tiene una migración más directa. El 24% de todos los registros esta por encima de 90° de desviación aproximadamente.

Las tortugas caguamas en migración muestran una diferencia considerable en las características oceanográficas en aquellos sitios en donde realizan las desviaciones mayores, según la descripción de su trayecto, donde la temperatura es mucho menor (hasta 4°C de diferencia con una trayectoria más o menos recta) y con las mayores concentraciones de clorofila presentes en cada desplazamiento; estos valores de clorofila van desde 0.4 hasta $3.5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Las desviaciones menores a 60° no muestran variaciones en los valores de ambas variables, manteniéndose en zonas relativamente cálidas (22 - 23°C) con valores de clorofila estables menores a $0.1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Estas tortugas realizaron su migración a una velocidad aproximada de $1.2 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$, de forma constante con el 50% de los datos entre 0.82 y $1.77 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$. Pocas veces alcanzando más de $2 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$ excepto en Adelita que presenta un buen porcentaje de desplazamientos a altas velocidades.



4.5) Comparación de las Condiciones Oceanográficas en Presencia y Ausencia de Tortugas

Se realizó también una comparación de los valores de clorofila y temperatura encontrados en el sitio donde se registró cada una de las posiciones de tortuga con los valores de la vecindad. En este análisis se denomina *Aleatorio* al promedio de los puntos obtenidos de forma aleatoria en una circunferencia de 100 Km alrededor del sitio de registro de tortuga y observado es el valor obtenido en la posición exacta de la tortuga. En la figura 4.14 se grafica la diferencia entre lo Aleatorio y lo Observado y se evalúa si la diferencia es mayor a 0 (Dif>0), indica que lo *aleatorio* es mayor, si este resultado es menor a 0 (dif<0) lo observado resulta ser mayor.

Se observa que en dos casos de *C. mydas*, la temperatura es mayor poco más del 60% de ocasiones en los puntos donde se registró la tortuga que en su alrededor (tabla 4.11). Aparentemente esta variable en *C. caretta* no indica diferencias entre su uso y la disponibilidad pues la mitad del tiempo están por arriba y el resto por debajo de la temperatura del área circundante.

<i>C. mydas</i>						
	%Tortuga esta en TSM mayor (Dif < 0)	%Tortuga esta en TSM mayor en 1°	p TSM	%Tortuga esta en Zona de Clorofila mayor (Dif < 0)	%Tortuga esta en zona de clorofila mayor en 0.2mg	P Clo
DJ	61.64	41.09	0.00	49.32	47.94	0.18
Marisol	41.51	58.49	0.00	88.88	81.48	0.00
Xaviera	65.38	34.61	0.76	64.29	28.57	0.12
Total	56.18	44.73		67.49	52.66	

<i>C. caretta</i> en alimentación						
	%Tortuga esta en TSM mayor (Dif < 0)	%Tortuga esta en TSM mayor en 1°	p TSM	%Tortuga esta en Zona de Clorofila mayor (Dif < 0)	%Tortuga esta en zona de clorofila mayor en 0.2mg	P Clo
Carla	34.48	13.79	0.00	75.44	30.70	0.00
Hasekura	43.63	21.81	0.73	93.33	73.33	0.00
Urashima	56.52	34.78	0.46	47.62	42.85	0.03
Xiomara	64.22	26.60	0.00	69.65	17.91	0.01
Total	49.71	24.25		71.51	41.20	

Tabla 4.11. Diferencia Ausencia-Presencia

Por otro lado la, clorofila resultó mucho mayor en presencia de una tortuga, en aproximadamente el 67% de las ocasiones en tortugas negras y el 71% en caguamas. De estas, el 52% y 41% respectivamente presenta diferencias significativamente mayores (>0.2 mg·m⁻³) en el punto registrado para la tortuga que en el entorno en general.

La evaluación de t-student indica una diferencia más aguda en el caso de las tortugas alimentándose (p> 0.00005).

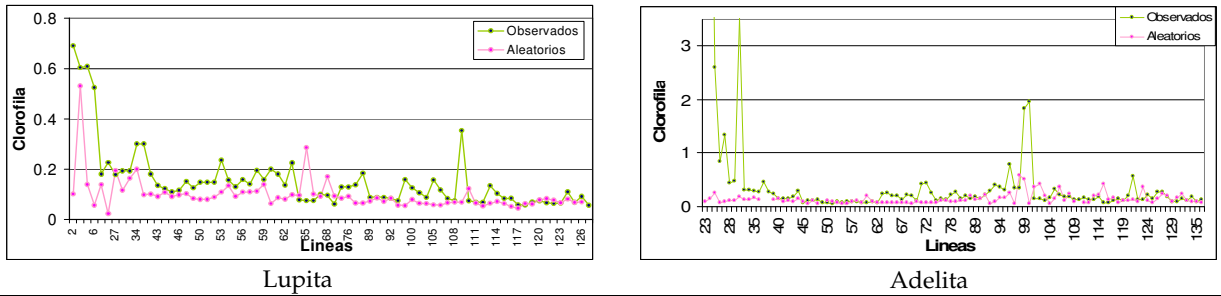


Figura 4.19. Grafica de condiciones en presencia y ausencia de *C. caretta* en migración.

Se hizo un análisis de factores similar al realizado para los datos en posición de tortuga, esta vez con los datos en ausencia de individuos. En las posiciones para *C. mydas* se encontraron correlaciones fuertes entre TSM y Clorofila, en contraste, los datos obtenidos en ausencia de tortugas las correlaciones fueron muy bajas. En las correlaciones reproducidas los valores más importantes se encuentran entre la batimetría y la distancia a la costa.

	TSM	CLO	BAT	DIST_COS
Correlaciones	TSM .318(b)	-.376	.463	.474
Reproducidas	CLO -.376	.445(b)	-.547	-.560
	BAT .463	-.547	.673(b)	.689
	DIST_COS .474	-.560	.689	.705(b)
Residual(a)	TSM	0.07824	-.183	-.217
	CLO	0.07824	.227	.167
	BAT	-.183	.227	-0.01673
	DIST_COS	-.217	.167	-1.673E-02
Extraction Method: Principal Component Analysis.				
b Reproduced communalities				

a) Correlaciones reproducidas

	Component	
	1	2
TSM	.564	-.714
CLO	-.667	.290
BAT	.820	.364
DIST_COS	.840	.354

b) Peso factorial de componentes

Tabla 4.16. Análisis de Factores en ausencia de individuos

En el caso de presencia de tortugas el segundo componente da más claridad acerca de la relación existente entre las variables, pues se observa una relación y explicación de la variable clorofila mucho mejor que en el resto. En el caso de los datos aleatorios se definen principalmente por batimetría y distancia a la costa que se explican probablemente entre ellas mismas. Aquí la clorofila tiene una participación considerable en el componente siendo la temperatura la más alejada de los factores, lo que refiere a menor relación entre la clorofila y la temperatura para estos datos. Lo cual se puede observar mejor en la tabla de correlaciones reproducidas (tabla 4.16 donde el único valor considerable se encuentra entre la batimetría y la distancia a la costa).



En el resto de los grupos de datos especie-fase, la diferencia encontrada entre los análisis multivariados de ausencia y presencia de tortugas no fue sustancial.

4.6) Análisis de Preferencia por Condiciones Oceanográficas

TSM

En las temperaturas se observa que en las migraciones de ambas especies la TSM muestra un intensidad de preferencia mayor ($R1$) en distancias cortas (determinadas por m) ya que los valores de $R1$ decrecen conforme aumenta m dibujando una curva (figura 4.20a). En la grafica de las distribuciones de los parámetros de preferencia respecto a las anomalías existe un incremento en la intensidad de preferencia ($R10$, $R100$) al aumentar la diferencia de TSM (Δ) en el sitio donde se encontraban con respecto al área circundante (figura 4.20b). En este mismo sentido, se observa un incremento considerable de la preferencia de TSM a partir de los 10 Km ($R10$), consistente con el hecho de que a esas distancias es posible encontrar diferencias en temperatura que no impliquen un evento extraordinario.

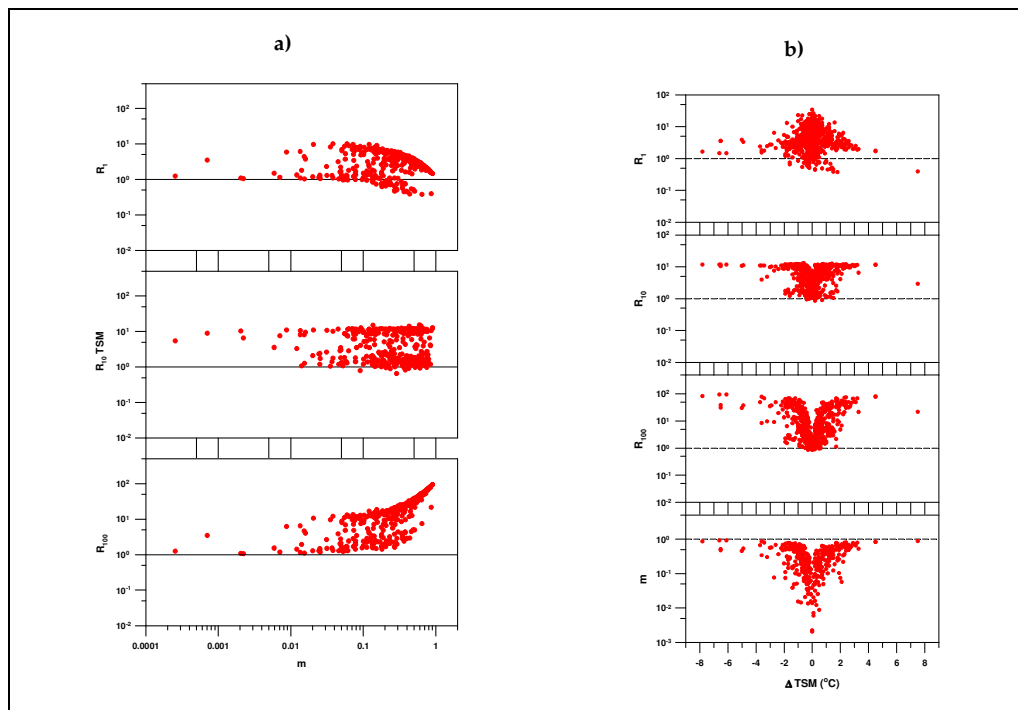


Figura 4.20. Análisis de preferencia de TSM en migraciones. a) Rd / m . b) Parámetros / ΔTSM



De *C. caretta* en migración se puede decir que se mantiene dentro de un intervalo de temperaturas que no implica estar en una situación diferente al resto del ambiente (más frío o más cálido que el resto del ambiente) sino dentro de un intervalo de temperaturas preferente observado en la figura 4.20b y en los histogramas de distribución de TSM.

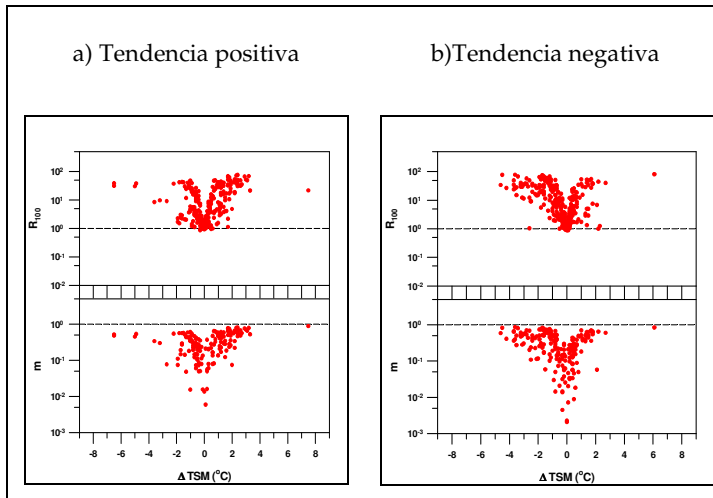


Figura 4.21. Preferencia conforme anomalías de TSM

Tres de las tortugas migradoras (dos *C. mydas* y una *C. caretta*) incrementan fuertemente la preferencia hacia aguas más cálidas aunque no se encuentran ahí de forma exclusiva (figura 4.21).

Por el contrario, dos de las *C. caretta* muestran un fuerte incremento en la preferencia hacia aguas más frías, siendo aquellos casos en los que el monitoreo ocurrió durante más de un año.

En algunas de las tortugas (principalmente *C. mydas* y tres *C. caretta*) la temperatura tiene un comportamiento bimodal más o menos sistemático cuando los valores normalizados se grafican contra el tiempo de seguimiento (figura 4.22).

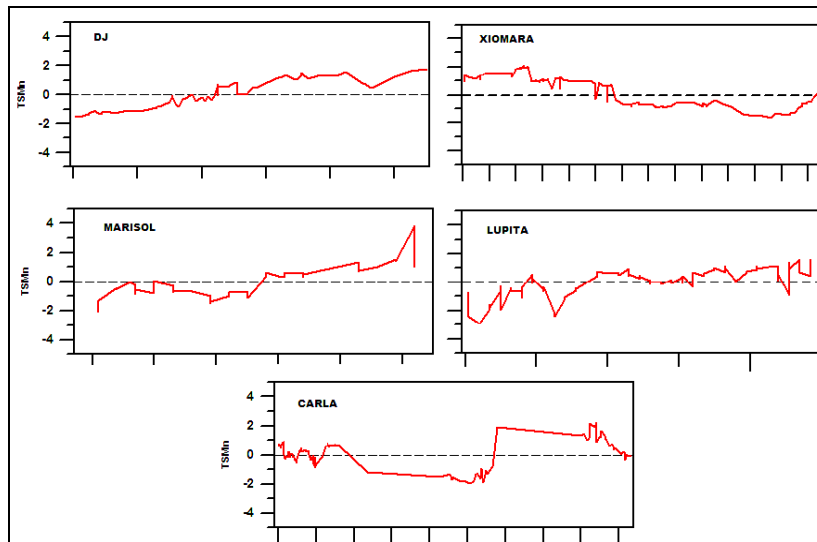


Figura 4.22. Perfiles de temperatura normalizados para cinco tortugas

En la primera fase de este comportamiento se observa que la temperatura es mayor en los alrededores que en el sitio donde está la tortuga. En la segunda fase esta situación se invierte y es similar para cuatro de ellas y contraria en Xiomara. Este patrón también es visible en los histogramas de temperatura y se da por un conjunto de factores relativos a la zona y a la temporada.

Clorofila

C. caretta como un conjunto, forman una pendiente de valores m de clorofila, esto indica que la intensidad de preferencia por la clorofila es más alta cuando la selección se da en distancias cortas ya que R aumenta cuando m disminuye (figura 4.22a).

Se observa en las graficas de Δ Clorofila v/s parámetros de preferencia (figura 4.23b) para los caso de *C. mydas* y la mayoría de *C. caretta* (una en migración y el resto en alimentación), como la cantidad de clorofila en el sitio donde se encontraba la tortuga es mayor en la mayoría de los casos, incluso hasta los 100 Km, con diferencias de hasta $7 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Algo destacable en este punto es que existe una mayoría de valores de Δ clorofila positivos (figura 4.23b), indicando que los valores de clorofila significativamente mayores se observaron en los sitios en donde se encontraba la tortuga, es decir que la clorofila es significativamente mayor ahí que en otro lugar alrededor.

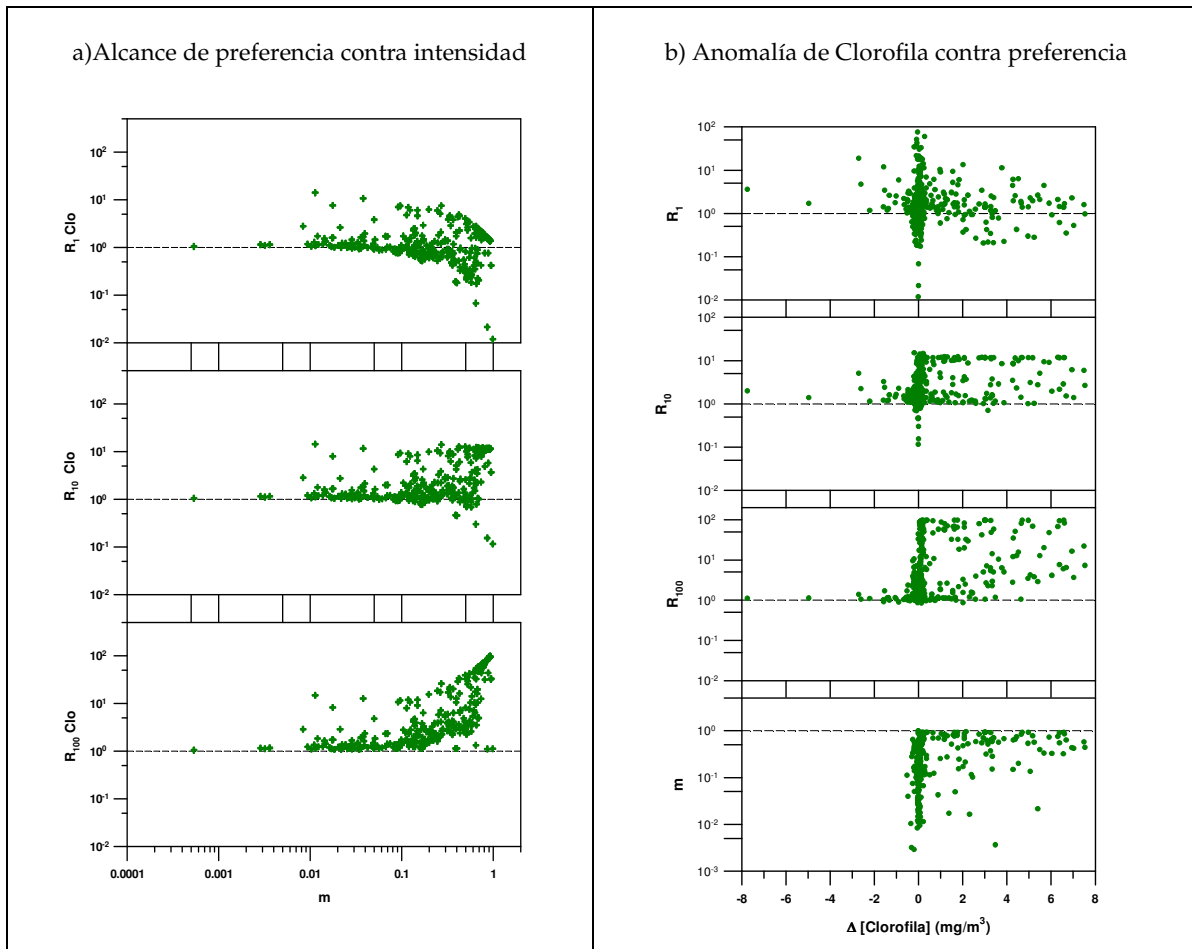


Figura 4.23. Parámetros de preferencia de clorofila en *C. mydas* y *C. caretta* en alimentación

En estos mismos casos los parámetros de intensidad de preferencia R_1 , R_{10} y R_{100} graficados contra Δ clorofila (figura 4.23a), alcanzan valores altos siendo mayores tanto o más que la temperatura, aunque parecen agrupados alrededor de 0 pues PREFEMAR (Medrano, 2006) no trabaja con la escala logarítmica requerida, caso en el que posiblemente sería más notorio el patrón de preferencia.

Batimetría

En el caso de las tortugas que se encuentran en fase alimentación, la batimetría tiene un ajuste similar a la TSM, donde dada la curva que dibujan los valores m v/s $R_1, 10, 100$ se observa una alta preferencia a distancias cortas. La intensidad aumenta cuando el alcance es poco, es decir, hay gran intensidad de preferencia en distancias cortas.

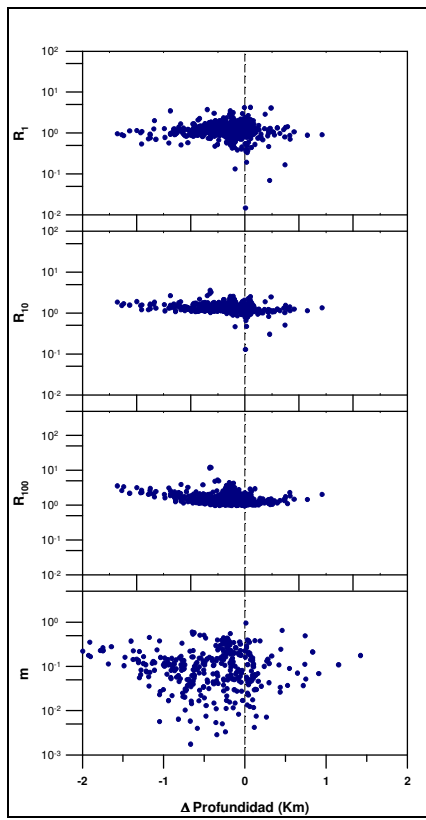


Figura 4.24. Δ Profundidad contra Parámetros de Preferencia

La profundidad no muestra parámetros de preferencia representativos (m , $R1$, 10 , 100), pues aunque la intensidad de preferencia de profundidad con respecto al alcance tiene formas similares a las otras variables, los valores de intensidad están en niveles mucho más bajos que el resto.

C. mydas no parece incrementar el alcance de preferencia m en la profundidad, sin embargo en la gráfica de distribuciones (figura 4.24) se observa una tendencia a estar en lugares menos profundos que el resto de la zona (profundidad del registro de la tortuga es menor que el promedio del entorno, sin mostrar un aumento en m).

De forma conjunta, las tortugas que se mueven relativamente cerca de la costa, es decir *C. mydas* en migración y *C. caretta* en alimentación, tienen tendencia a encontrarse en aguas de profundidad menor que en la media de sitios aledaños.



CAPÍTULO 5. **Discusión y Conclusiones**

5.1) Discusión

A lo largo de muchos años se ha mencionado en diferentes textos que la temperatura tiene una fuerte influencia en la vida de las tortugas marinas, quienes habitan zonas preferentemente cálidas y semicálidas en intervalos estrechos. Esto es lógico pensando que las variaciones térmicas tienen consecuencias en su vida desde el momento de ser concebidas. Sin embargo, para *C. mydas* los resultados en este trabajo muestran intervalos de temperatura amplios, aunque sin llegar a distribuirse a lo largo de toda la disposición térmica. Hays *et al.* (2001b) afirman que la temperatura no es un factor de influencia, pero si pueden tener cierto grado de preferencia con respecto a las condiciones térmicas circundantes. El 50% de los valores de TSM obtenida a lo largo de los derroteros de *C. mydas* observados en este estudio agrupan valores entre los 20 y 25°C. Esta variación resulta de la estacionalidad y de la zona. Mientras la migración de Marisol sucede en temporada fría sin variaciones, entre noviembre y enero, DJ va hacia el Sur entre enero y mayo, cuando sucede la transición estacional de frío a cálido mientras viaja mostrando gran variación en el uso de temperaturas, por último Xaviera realiza su trayecto sólo durante septiembre del año caluroso de 1997 con temperaturas de más de 32°C y muy baja producción biológica.

Richardson y McGillivray (1991) plantearon la posibilidad de que existieran corredores migratorios determinados por estructuras oceanográficas. Esta hipótesis fue avalada por varios autores posteriormente (Morreale *et al.* 1996, Polovina *et al.* 2000, 2001, 2004, Luschi *et al.* 2003b) para las tortugas caguamas a lo largo del mundo. En este trabajo se observó que es posible que esto ocurra, sin embargo fue complicado evaluar de forma cuantitativa cuan cerca puede estar una tortuga de un frente, giro o surgencia, pues esta observación resulta únicamente del análisis visual de las imágenes. De los resultados cuantitativos se observó que con respecto al área circunvecina las caguamas pasan el 70% del tiempo sobre aguas con mayor concentración de clorofila *a* que el ambiente alrededor de la tortuga. *C.*



mydas en migración tienen altos índices de preferencia a mediano alcance sobre la clorofila, lo que puede indicar cierto grado de preferencia hacia aguas más productivas dentro de su misma trayectoria tentativa de migración.

Para *C. mydas* se tiene poca evidencia bibliográfica de un uso de aguas productivas pues escasamente se ha planteado su uso preferente, partiendo de que su alimentación es herbívora y que viajan sobre la costa a fin de alimentarse de pastos y algas. Fritts (1981), Hays-Brown y Brown (1982), Bjorndal (1997), Hilbert *et al.* (2000), Seminoff *et al.* (2000, 2002a), entre otros muestran evidencia de ingesta animal adquirida posiblemente en zonas productivas. Aunado a eso Mortimer (1981), Meylan (1982) Alvarado y Figueroa (1992) y Cheng (2000) plantean la posibilidad de que tortugas negras se lleguen a alimentar durante la migración y potencialmente cambiar de una dieta herbívora a una carnívora, donde pueden aprovechar zonas productivas para consumir huevos y peces mientras viajan. Desde los valores de concentración de clorofila *a* hasta los análisis de preferencia realizados en esta investigación se muestra que las migraciones de las tortugas tienen un componente importante de paseos por zonas productivas y que de alimentarse a lo largo de su trayecto, no sería únicamente de pastos marinos, pues sólo pasan el 22% del tiempo en profundidades tan someras (<50 m) para sumergirse, ocupando claramente zonas de muy alta productividad y con existencia de grandes estructuras oceánicas. Ya en otras ocasiones se había puesto a consideración cómo migraciones extensas alternan traslados diseccionados con segmentos serpenteados relacionados probablemente con una actividad alimenticia (Morreale *et al.* 1996; Cheng 2000; Luschi *et al.* 2003b). Sin embargo, posiblemente por causa del método utilizado, no se pudo corroborar si las desviaciones en *Chelonia mydas* eran incitadas por alguna variable en concreto.

La concepción acerca de la profundidad a la que las tortugas negras realizan su recorrido migratorio ha sufrido ligeras variaciones en su planteamiento. Cuando se tuvieron las primeras evidencias de trayectorias completas, se llegó a mencionar que esta migración se realizaba a lo largo de la línea de costa, como clave para encontrar su camino. También se afirmó que en ciertas poblaciones la migración ocurre sobre los 24.3 m (NMFS, 1998) por lo que era posible que la profundidad se diera en zonas someras para las tortugas negras de



Baja California (Nichols *et al.* 2000b). En este trabajo se encontró que las distancias que separan a las tortugas de la zona costera son muy grandes y no tienen una buena definición y si usaran esta como una guía hacia su destino, cerca del 50% del tiempo estarían “perdidas” o divagando sin rumbo. Sólo el 22% del tiempo las tres *C. mydas* observadas nadan sobre zonas menos profundas a los 50 m, la cual es el promedio de profundidad de buceo de una *C. mydas*. Con los resultados del presente trabajo se corroboran los planteamientos realizados por Cheng (2000) en donde menciona que las tortugas observadas prefieren una migración por la plataforma continental, en este caso con el 60% de las ocasiones en profundidades menores a 200 m. No obstante no se debe perder de vista el hecho de que el 40% restante son profundidades mucho mayores y al igual que Cheng (2000) se cree que otras desviaciones pueden estar relacionadas con distintas variables, haciendo énfasis en la ventaja que pueden tomar para alimentarse a lo largo de la migración.

Los derroteros de *C. caretta* están determinados por zonas de fuertes gradientes ambientales donde se realizan ya que muestran valores de temperatura en amplios rangos, reforzados por gradientes fuertes en clorofila. Estas variaciones son indicadores de cómo las tortugas cruzan por estructuras oceánicas como frentes y giros, bien identificados para la zona de confluencia de corrientes en la parte Oeste de la Península de Baja California.

En las comparaciones hechas entre el entorno y los sitios escogidos por las tortugas, se encontró que el comportamiento de forma general apunta a que la TSM implica preferencias en distancias cortas, la clorofila muestra una preferencia de intervalos más amplios y en la batimetría no se aprecia una definición en el alcance o intensidad. Es coherente con el hecho de que la temperatura les implica reacciones físicas casi inmediatas y por otro lado la profundidad es sólo una variable que bien puede ser resultado circunstancial más que algo determinante en la definición de la ruta que siguen, en especial para el caso de *C. mydas* en migración.

Por otro lado estos individuos tienen una relación a mediano alcance con las áreas de producción en diferentes contextos posibles. En el sentido individual, un área de alta



producción será más difícil de encontrar, pues se supone que implica una búsqueda. Por otro lado se conoce el hecho que las áreas de alta producción van formando un amortiguador de productividad a la distancia de las áreas donde se presentan elevados índices de clorofila, conforme la cadena trófica va subiendo de nivel (Olson y Backus 1985).

Existe una amplia investigación de la ruta de Adelita, pues es la primera caguama monitoreada desde el inicio hasta el final de la travesía transpacífica. En un principio se especulaba que tomaba ventaja de las corrientes (Resendiz *et al.* 1998), para realizar un transporte de bajo costo energético. Sin embargo, posteriormente se observó que tortugas caguamas nadan por momentos en contra de la corriente, como los casos reportados por Polovina *et al.* (2000); además de que logra velocidades que exceden los promedios de las corrientes superficiales. Por otro lado se llegó a creer que la ruta tan bien direccionada de este individuo se daba por ser la más corta entre los puntos de partida y salida, lo que es rechazado por este trabajo ya que la distancia entre la ruta que tomó y la ruta más corta es de casi 8 000 Km tomando pues se dirigió más al Sur de lo “necesario”. Nichols *et al.* (2000a) concuerdan con la idea de Polovina *et al.* (2000, 2004) de que la ruta al Sur se da porque atraviesa un área de convergencia de la Corriente Norecuatorial relativamente rica en plancton. Los valores de clorofila encontrados en Adelita abarcan valores de $0.2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, que Polovina *et al.* (2001) definieron en su trabajo como los indicadores del frente de clorofila de la zona de transición, por ser concentraciones favorables de clorofila en océano abierto. Sin embargo, resultados como en Polovina *et al.* (2000) sugieren que las caguamas podrían buscar mantenerse en asociación con frentes tal como ocurre con Yamilet que no dirige su desplazamiento directamente a Japón sino que la trayectoria muestra una estadía de por lo menos ocho meses en el Pacífico central con estimaciones de clorofila mayores a $0.2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$

También es posible que la ruta más corta implique temperaturas muy por debajo de las que reporta ya que estas últimas están bien definidas alrededor de los 23°C . Resalta el hecho de que si las tortugas tomaran esa ruta corta ubicada más al Norte, tendrían que



enfrentarse con temperaturas de hasta 13°C, las cuales no se presentan en las rutas de estos individuos.

Como se esperaba, la probabilidad de que las dos especies de tortugas usen de forma discriminada zonas altamente productivas es alta, hipótesis reforzada con este trabajo. Tomando en consideración como estas mismas zonas resultan un gran foco de actividad pesquera queda evidencia complementaria del hecho de que las tortugas ocupan un hábitat de migración y alimentación sobrelapado con las áreas de pesquería definidas por los altos niveles de productividad.

Es posible que la información recopilada en este trabajo sea de utilidad a las investigaciones que se realizan actualmente con modelos de la dinámica espacial de especies en peligro ya que estos modelos necesitan información ambiental y biológica de los individuos en estudio (Kirby, 2003). Aunado a esas posibilidades de, se espera que estos resultados ayuden a sustentar proyectos de protección y manejo de las zonas habitadas por tortugas negra y caguama desde el Golfo de California hasta las costas de Michoacán en México.



5.2) Conclusiones

En este trabajo se han logrado establecer las condiciones oceanográficas dadas a lo largo de los derroteros de diez tortugas marinas de dos especies. Se uso información satelital y se tomó ventaja de los sistemas de información geográfica, que han demostrado ser de gran utilidad, logrando obtener una gran cantidad información en tiempo y costos relativamente bajos.

Con esta información podemos concluir de forma general que las variables oceanográficas que se describen en la ubicación de una tortuga marina dependerá de la especie y / o de la fase en la que se encuentra.

Para las tortugas *C. caretta* la temperatura en la que se mueven se observa estable, alrededor de los 23°C, a diferencia de *C. mydas* que presentan variaciones de aproximadamente 10°C. La profundidad sobre la que viajan las tortugas negras en su migración hacia costas de Michoacán es en la mayor parte de su recorrido menor a 200 m, es decir sobre la plataforma continental, mientras que para el resto de individuos, no implica ninguna preferencia. Finalmente la clorofila parece ser muy importante en la ruta de estas *C. mydas* y de *C. caretta* en alimentación pues presenta valores significativamente altos.

Los derroteros de las 10 tortugas se definieron basandose en la duración de su trayectoria, la velocidad, desviaciones, distancias a una ruta corta y la distancia a la costa. Al analizar la TSM, la clorofila *a* y la batimetría en estos derroteros, se encontró que las tortugas migradoras no se desplazan buscando la ruta más corta entre su origen y destino, sino que van realizando desviaciones de una trayectoria recta, de hasta 90°, especialmente *C. mydas*. Para estas tortugas negras se encontró que de forma muy general el desplazamiento más rápido se realizó durante un año especialmente cálido, mientras que el que registra menor velocidad fue el derrotero que inició durante la época invernal. Estas *C. mydas* viajan en promedio más rápido que *C. caretta* migrando y mucho más rápido que *C. caretta* en alimentación. Es previsible que las tortugas alimentándose se desplacen lentamente con grandes desviaciones, lo que se corroboró en este trabajo al observar las bajas velocidades



y grandes desviaciones a lo largo de los derroteros de *C. caretta* en área de alimentación. La tortuga negra se desplaza muy cerca de la costa creando una relación similar que con la batimetría de la zona.

La relación cuantitativa entre la definición de los derroteros con las variables oceanográficas se observó de manera significativa en el caso de las tortugas *C. caretta* en migración, que muestran una diferencia considerable en las características oceanográficas en aquellos sitios en donde realizan las desviaciones mayores. El resto de las relaciones permanecen en un aspecto individual, sin que sea posible establecer correlaciones cuantitativas significativas entre las variables que definen el derrotero y las condiciones oceanográficas. Por otro lado, los análisis descriptivos indican que existe un vínculo entre estos individuos y las condiciones ambientales en las que se encuentra. Al analizar y comparar cuantitativamente la TSM de los derroteros entre las diferentes especies-fase que se estudiaron, se encontró que las tortugas caguamas tienen un intervalo de temperatura de mayor utilización bien definido, ubicado entre los 20 y 25°C en comparación con las tortugas negras que son más dependientes de la condición térmica de la zona, aunque nunca llegan a estar en temperaturas tan frías como el mínimo en la zona, ni en lo más cálido. Coles y Musick (2000) definen este comportamiento como intervalos de temperatura selectos estacionalmente variables. De *C. caretta* en migración se puede decir que se mantiene dentro de un intervalo de temperaturas que no implica estar en una situación diferente al resto del ambiente (más frío o más cálido que los alrededores) sino dentro de un intervalo de temperaturas preferente. La tortuga caguama migrando se aleja de una ruta teórica más corta desde que comienza su trayectoria, moviéndose considerablemente al Sur hasta alcanzar los 25° de latitud Norte, par tomar una dirección al Oeste.

Las tortugas negras observadas parecen viajar prioritariamente sobre la plataforma continental y una vez que tienen controlada esta característica, parecen optar por aguas productivas con alta concentración de clorofila, dejando a la temperatura en la mayoría de los casos en último término, caracterizando poco sus desplazamientos.



5.3) Recomendaciones

En este trabajo se realizó un esfuerzo por conjuntar dos ramas del conocimiento, por un lado la biología de las tortugas marinas como conocimiento básico y por otro lado la teoría y uso de la percepción remota y de los beneficios de los sistemas de información geográfica. Sin embargo, en comparación con estudios similares se hace evidente la necesidad de establecer una metodología estandarizada, mediante la que se puedan realizar comparaciones con los resultados obtenidos en otras zonas de estudio y que son realizadas por diferentes investigadores.

De forma técnica se sugiere que estudios similares se realicen sobre una sola población, con suficientes individuos ($n > 30$) si las instituciones implicadas lo permiten ya que en la actualidad se cuenta con un sin número de marcajes satelitales en tortugas marinas en muy diversas regiones. Por otro lado se recomienda el uso de compuestos de imágenes semanales en los cuales se puedan eliminar las imperfecciones meteorológicas inherentes a las imágenes satelitales, pero también evitar usar compuestos mensuales pues se perdería entonces el beneficio del detalle temporal que tienen actualmente los insumos.

Este tipo de estudios deberán seguir realizándose en todos los sitios en donde se cuente con la presencia de alguna especie de tortuga marina. Para esto será indispensable lograr un acercamiento holístico, en donde tengan cabida todas las áreas de la ciencia y tecnología implicadas. Lograr la conjunción del conocimiento en los aspectos biológico y ecológico de las tortugas con la telemetría y teledetección satelitales llegando a explotar todos los avances tecnológicos es una meta que debe tener como objetivo principal el manejo y protección de áreas prioritarias para la vida de estas especies.

Se invita a las instituciones encargadas de la protección de la tortuga marina para que hagan uso de las investigaciones generadas principalmente de la conjunción de enfoques, pues es de este modo como se podrá entender las formas que tiene el ambiente donde habitan las especies objetivo ya que nunca dependerán de una sola variable física y o biológica.



Recomiendo de forma general que si los objetivos de gran parte de la investigación que se hace con especies marinas en peligro son la protección, el manejo, mejorar la calidad del hábitat, y conocer las implicaciones de cambios estructurales del hábitat, entre otros, no deberían existir restricciones de flujo de información, desde metodologías, insumos y material para discusión. Las trabas institucionales y las fronteras geográficas se convierten en obstáculos y barreras para la protección de seres que no conocen de instituciones ni de países ni de riñas entre grupos de investigación. De esta forma las cuestiones de investigación indispensables para la conservación, quedarían mejor cubiertas y se avanzaría hacia la toma de decisiones sustentadas.



Bibliografía

- Aguirre, R. 2001. *Los mares mexicanos a través de la percepción remota. III. Métodos y técnicas para el estudio del territorio*. Instituto de Geografía, UNAM; Plaza y Valdés. México, D.F.
- Alvarado, J., Delgado, C., Suazo-Ortuño. 2001. Evaluation of black turtle project in Michoacan, Mexico. *Marine Turtle Newsletter*. 92:4-7.
- Alvarado, J. y Figueroa, A. 1990. The ecological recovery of sea turtles of Michoacán, Mexico. Special attention the black turtle. *Final Report for USFWS and WWF-US*.
- Alvarado, J. y Figueroa, A. 1992. Recapturas post-anidatorias de hembras de tortuga marina negra (*Chelonia agassizii*) marcadas en Michoacán, México. *Biotropica*. 24(4): 560 - 566.
- Avens, L., Braun-McNeill, J., Epperly, S., Lohmann, K.J. 2003. Site fidelity and homing behavior in juvenile loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*). *Marine Biology*. 143: 211–220.
- Bakun, A. 1996. *Patters in the ocean: ocean processes and marine population dynamics*. California Sea Grant College System in cooperation with Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, B.C.S, México.
- Beier, E., 1997: A numerical investigation of the annual variability in the Gulf of California. *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 615-632
- Bjorndal, K.A. 1997 Foraging ecology and nutrition of sea turtles. En: *The Biology of Sea Turtles*. Lutz, P.L. y Musick, J.A. (eds). CRC Press. Boca Raton, FL.
- Bjorndal, K.A. 2003. Roles of loggerhead sea turtles in marine ecosystems. En: *Loggerhead sea turtles*. Bolten, A.B. y Witherington, B.E. (eds). Smithsonian Institution Press. Washington D.C.
- Bolten, A.B., Bjorndal, K.A., Martins, H.R. 1994. Life history model for the loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) population in the Atlantic: potential impacts of a longline Fishery. *NOAA Natn Mar Fish Serv Tech Mem US Dep Commerce*. SWFSC-201:48–54
- Bolten, A.B. 2003a. Variation in sea turtle life history patterns: neritic vs. oceanic developmental stages. En: *The Biology of Sea Turtles. Volume II*. Lutz, P. L., Musick, J. A., Wyneken, J. (eds). CRC Marine Biology Series, CRC Press. Boca Raton, London, New York, Washington D.C.
- Bolten, A.B. 2003b. Active swimmers – passive drifters: the oceanic juvenile state of loggerheads in the Atlantic system. En: *Loggerhead Sea Turtles*. Bolten, A.B. y Witherington, B.E. (eds). Smithsonian Institution Press. Washington D.C.
- Bowen, B., Avise, J.C., Richardson, J.I., Meylan, A.B., Margaritoulis, D. y Hopkins-Murphy, S.R. 1993. Population structure of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) in the northwestern Atlantic Ocean and Mediterranean Sea. *Conservation Biology*. 7:834-844
- Bowen, B. W., Abreu-Grobois, F. A., Balazs, G. H., Kamezaki, N. C., Limpus, C.J. y Ferl, R. J. 1995. Trans-Pacific migrations of the loggerhead sea turtle demonstrated with mitochondrial DNA markers. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 92:3731-3734.
- Bustard, H.R. 1976. World's largest sea turtle rookery?. *Tigerpaper*. 3 (3): 25.
- Carr, A., Carr, M. H. y Meylan, A. B. 1978. The ecology and migrations of sea turtles, 7. The west Caribbean green turtle colony. *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.* 162:1-46.



- Carr, A. 1987. New perspectives on the pelagic stage of sea turtle development. *Conservation Biology*. 1(2):103-121
- Casas-Andrew, G. y Gómez-Aguirre, S. 1980. Contribución al conocimiento de los hábitos alimenticios de *Lepidochelys olivacea* y *Chelonia mydas agassizi* (Reptilia, Cheloniidae) en el Pacífico mexicano. *Bolm. Instituto de Oceanografía*. 29(2):87-89.
- Cheng, I.J. 2000. Post-Nesting Migrations of Green Turtles (*Chelonia mydas*) at Wan-An Island, Penghu Archipelago, Taiwan. *Marine Biology*. 137: 747-754.
- Chuvieco, E. 2002. *Teledeteccion ambiental. La observacion de la tierra desde el espacio*. Editorial Ariel. Barcelona España.
- Cliffton, K., Cornego, D.O., Felger, R.S. 1982. Sea turtles of the Pacific Coast of Mexico. *Biology and Conservation of Sea Turtles*. Bjorndal, K.A. (ed.). Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Coles, W. C. y Musick, J. A. 2000. Satellite Sea Surface Temperature Analysis and Correlation with Sea Turtle Distribution off North Carolina. *Copeia*.(2): 551-554.
- Cornelius, S. y Robinson, A. 1986. Post-nesting movements of female Olive Ridley turtles tagged in Costa Rica. *Vida Silvestre Neotropical*. 1 (1):12-23.
- Davenport, J., Verteuil N., Magill, S.H. 1997. The effects of current velocity and temperature upon swimming in juvenile green turtles *Chelonia mydas* L. *Herpetological journal*. 7:143-147.
- Davenport, J.1997. Temperature and the life-history strategies of sea turtles. *Journal of Thermal Biology*. 22(6):479-488
- De la Lanza, E. G. 1991. *Oceanografía de mares mexicanos*. Ed. A. G. T. México, D.F. 569 pp.
- Eckert, S., et al. 1998. Recovery plan(s) for U.S. Pacific populations of the green (*Chelonia mydas*) and hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*). US Fish & Wildl. Serv and Nat Mar Fish Serv, Pacific sea turtle recovery team. Nat Mar Fish Serv, Silver Spring MD.
- Esaias, W. 1981. Remote Sensing in Biological Oceanography. Oceanography from space. *Oceanus*. 24(3):17-26.
- Felger, R. S. Cliffton, K. Regal, P. J. 1976. Winter dormancy in sea turtles: Independent discovery and exploitation in the Gulf of California by two local cultures. *Science*. 191(4224):283-285
- Fritts, T. H. 1981. Pelagic feeding habits of turtles in the eastern Pacific. *Marine Turtle Newsletter*. 17:4-5.
- Gardner, S. y Nichols, J.W. 2001. Assesment of Sea turtles mortality rates in the Bahia Magdalena Region, Baja California Sur, Mexico. *Chelonian Conservation and Biology*. 4(1):197-199.
- General Bathymetric Chart of the Oceans, The (GEBCO) 97. <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gebco/>
- Godley, B.J., Richardson, S., Broderick, A.C., Coyne, M.S., Glen, F., Hays, G.C. 2002. Long-Term Satellite Telemetry of the movements and Habitat Utilisation by Green Turtles in the Mediterranean. *Ecography*.25(3): 352-362.
- Godley, B. J., Broderick, A. C., Glen, F., Hays, G. C. 2003a. Post-nesting movements and submergence patterns of loggerhead marine turtles in the Mediterranean assessed by satellite tracking. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 287:119-134



Godley, B.J., Lima, E., Akesson, S., Broderick, A.C., Glen, F., Godfrey, M.H., Luschi, P., Hays, G.C. 2003b. Movement patterns of green turtles in Brazilian coastal waters described by satellite tracking and flipper tagging. *Marine Ecology Progress Series*.253: 279-288.

González-Morales, A. y Gaxiola-Castro, G., 1991. Daily variation of physico-chemical characteristics, biomass and phytoplankton primary production in an upwelling coastal zone of Baja California. *Science*. 17: 21-37.

Groombridge y Luxmoore. 1989. En: Alvarado, J. y Figueroa, A. 1992. Recapturas post-anidatorias de hembras de tortuga marina negra (*Chelonia agassizii*) marcadas en Michoacán, México. *Biotropica*. 24(4): 560 - 566.

Hammann, M. G., Baumsrtner, T. R. y Badar-Dangon, A. 1988. Coupling of the Pacific sardine (*Sardinops sagax caedeus*) life cycle with the Gulf of California pelagic environment. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 29: 102-109.

Hatase, H., Takai N., Matsuzawa, Y., Sakamoto, W., Goto, K., Omuta, K. 2000. Feeding grounds of adult female loggerhead turtles, *Caretta caretta*, in the western north Pacific Ocean estimated by carbon and nitrogen stable isotope analyses of eggs-yolks. In: *Proceedings of the Twentieth Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-477.

Hatase, H, Matsuzawa, Y., Sato, k., Goto, k. 2004. Remigration and growth of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) nesting on Seri Beach in Minabe, Japan: life-history polymorphism in a sea turtle population. *Marine Biology*. 144: 807-811.

Hays, G.C., Dray, M., Quaipe, T., Smyth, T.J., Mironnet, N.C., Luschi, P., Papi, F., Barnsley, M.J. 2001b. Movements of Migrating Green Turtles in Relation to AVHRR Derived Sea Surface Temperature. *International Journal of Remote Sensing*. 22(8):1403-1411.

Hays, G. C., Broderick, A. C., Glen, F., Godley, B. J., Houghton, J.D.R., Metcalfe, J.D. 2002. Water temperature and interesting intervals for loggerhead (*Caretta caretta*) and Green turtles (*Chelonia mydas*) sea turtles. *Journal of Thermal Biology*. 27: 429-432.

Hays, G. C., Metcalfe, J. D., Walne, A. W., Wilson, R. P.2004. First records of flipper beat frequency during sea turtle diving. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 303(2):243-260

Hays-Brown, C. y Brown, W.1982. Status of Sea Turtles in the Southeastern Pacific: Emphasis on Peru. En: *Biology and Conservation of Sea Turtles*. Bjorndal, K.A. (ed.). Smithsonian Institution Press, Washington, DC.

Hecker, C.A. y Gieske, A.S.M. 2001. Thermal remote sensing. En: *Principles of Remote Sensing*. Kerle N., Janssen L.L.F., Huurneman G.C. (eds). ITC Educational Text Book Series 2. Enschede, The Netherlands.

Hilbert, S C., Gardner, S. C., Nichols, W. J., Campbell, L.M., Schoonover, H.A., Ward, J., Zilinskas, K. 2000. Feeding habitats of black turtles (*Chelonia mydas agassizii*) in Magdalena Bay Region, Baja California Peninsula, Mexico. In: *Proceedings of the Twentieth Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*. Mosier, A., Foley, A., Brost, B. Compilers. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-477;

Hochscheid, S., Bentivegna, F., Speakman, J. R. 2002. Blood flow in sea turtles: how do they regulate heat exchange with the environment. En: *Proceedings of the Twentieth Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*. Mosier, A., Foley, A., Brost, B. Compilers. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-477. 369 pp.; p. 106

Hopkins-Murphy, S.R., Owens, D.W., Murphy, T.M. 2003. Ecology of immature loggerheads on foraging grounds and adults in interesting habitat in the eastern United States. En: *Loggerhead Sea Turtles*. Bolten, A.B., Witherington, B.E. (eds.) Smithsonian Books, Washington, D.C.

INP, Instituto Nacional de Pesca. 1994. Atlas Pesquero de México. México, D.F.



- Jenness, J. 2004. Nearest features (nearfeat.avx) extension for ArcView 3.x, v. 3.8a. Jenness Enterprises.
- Jenness, J. 2004b. Path, with distances and bearings (pathfind.avx) extension for ArcView 3.x, v. 3.2. Jenness Enterprises.
- Kahru, M. y Mitchell, B.G., 2000. Influence of the 1997–98 El Niño on the surface chlorophyll in the California current. *Geophysical Research Letters*. 27: 2937–2940.
- Kahru, M. 2003a. WAM, WIM Automation Module. WimSoft.
- Kahru, M. 2003b. WIM, Windows Image Manager (V.6.11). WimSoft.
- Kamezaki, N. y 28 co-authors. 2003. Loggerhead turtles nesting in Japan. En: *Loggerhead Sea Turtles*. Bolten, A.B., Witherington, B.E. (eds.) Smithsonian Books, Washington, D.C.
- Kirk, J.T.O. 1994. *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. 2a Edición. Cambridge University Press. Australia.
- Laur, R.M. y Brucks, J.T. 1985. Living marine resources applications. En: *Satellite oceanic remote sensing*. Saltzman, B. (Ed.). Advances in Geophysics 27, Academic Press, 419-452.
- Lavin, M.F., G. Gaxiola Castro, J.M. Robles y K. Richter. 1995. Winter water-masses and nutrients in the northern Gulf of California. *Journal Geophysical Research*. 100(C5):8587-8605.
- Lavín, M.F., Palacios-Hernandez, E., Cabrera, C. 2003. Sea surface temperature anomalies in the Gulf of California. *Geofísica Internacional*. 42(3):363-375.
- Limpus, C.J., Carter, D. y Hamann, M. 2001. The green turtle, *Chelonia mydas*, in Queensland: the Bramble Cay rookery in the 1979–1980 breeding season. *Chelonian Conservation and Biology*. 4(1):34–46.
- Limpus, C. J. y Limpus, D. J. 2003. Biology of The Loggerhead Turtle in Western South Pacific Ocean Foraging Areas. En: *Loggerhead Sea Turtles*. Bolten, A.B., Witherington, B.E. (eds.) Smithsonian Books, Washington, D.C.
- Linnaeus, C. 1758. *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. Ed. 10, Tomus 1. L. Salvii srockholm, Sweden, 823 pp.
- Lopez-Mendilaharsu, M., Gardner, S.C., Seminoff, J.A. 2002. Feeding ecology of the East Pacific Green Turtle (*Chelonia mydas agassizii*) in Bahía Magdalena, B.C.S., Mexico. En: *Proceedings of the Twenty-Second Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*. Seminoff, J.A., compiler. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-503.
- Luschi, P., Hays, G.C., del Seppia, C., Marsh, R., Papi, F. 1998. The navigational feats of green sea turtles migrating from Ascension Island investigated by satellite telemetry. *Proceedings of the Royal Society of London Series B*. 265:2279–2284.
- Luschi, P., Sale, A., Mencacci, R., Hughes, G. R., Lutjeharms, J. R. E., Papi, F. 2003a. Current transport of leatherback sea turtles (*Dermochelys coriacea*) in the ocean. *Proceedings of the Royal Society of London Series B - Biological Sciences*. 270(2): S129- S132
- Luschi, P., Hughes, G.R., Mencacci, R., de Bernardi, E., Sale, A., Broker, R., Bouwer, M., Papi, F. 2003b. Satellite tracking of migrating loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) displaced in the open sea. *Marine Biology*. 143: 793-801
- Lutz, P.L. y Musick, J.A. 1996. *The biology of sea turtles*. CRC Press.



- Madrid, V.J., Sánchez, P. y Ruiz L. A. 1997. Diversity and abundance of a tropical fishery on the Pacific shelf of Michoacán, México. *Est. Coast. Shelf Sci.* 45: 485-495
- Marquez, R. 1996. *El oceano y sus recursos*. La ciencia desde México. Fondo de Cultura Económica. México, DF.
- McLain, E.P., Pichel, W.G. y Walton, C.C. 1985. Comparative performance of AVHRR based multichannel sea surface temperatures over the ocean. *Mon. Wea. Rev.* 112: 303-313.
- Medrano González L. 2006. PREFEMAR. Análisis de preferencia por condiciones oceanográficas de organismos marinos. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM. México, DF. 391 líneas.
- Mendoza, M.T. 1983. Movement and feeding ecology of immature green turtles (*Chelonia mydas*) in a Florida lagoon. *Copeia*. 1013-1023.
- Meylan, A. 1982. Sea turtle migration - evidence from tag returns. En: *Biology and Conservation of Sea Turtles*. Bjorndal, K.A. (ed.). Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Morreale, S.J., Standora, E.A., Spotila, J.R., Paladino, F.V. 1996. Migration corridor for sea turtles. *Nature*. 384: 319-320
- Monreal, M.A.G. et al. 1999. Las surgencias costeras de América. *Revista Geofísica*. Jilío-Diciembre, 51:7-38.
- Mortimer, J. A. 1981. The feeding ecology of the west Caribbean green turtle (*Chelonia mydas*) in Nicaragua. *Biotrópica*. 13: 49- 58
- Mortimer, J. A. 1982. Factors influencing beach selection by nesting sea turtles. En: *Biology and Conservation of Sea Turtles*. Bjorndal, K.A. (ed.). Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Musick, J.A. y Limpus, C. J. 1997. Habitat utilization and migration in juvenile sea turtles. En: *The biology of sea turtles*. Lutz, P.L., Musick, J.A. (Eds.). CRC Press, Boca Raton, Fl.
- Nichols, W.J. 2000. En: Alvarado-Diaz, J., Delgado, C. and Suazo-Ortuño. 2001. Evaluation of black turtle project in Michoacan, Mexico. *Marine Turtle Newsletter*. 92:4-7.
- Nichols, W.J., Seminoff, J. A., Resendiz, A., Abreu-Grobois, F. A. y Dutton, P. H. 2000a. Using molecular genetics and biotelemetry to study sea turtle migration: A tale of two turtles. En: *Proceedings of the 18th Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*. Abreu-Grobois, F.A, R.Briseño-Dueñas, R. Márquez-Millán, L. Sarti-Martínez. (compiladores). U.S. Dep. Commer. NOAA Tech. Memo. NMFS-SEFSC-436. 102-103
- Nichols, W.J., Resendiz, A., Seminoff, J.A., Resendiz, B. 2000b. Transpacific migration of a loggerhead turtle monitored by satellite telemetry. *Bull Mar Sci*. 67:937-947
- Nichols, W. J., Brooks, L., Lopez, M., and Seminoff, J.A. 2001. Record of pelagic East Pacific Green Turtles associated with Macrocyctis mats near Baja California Sur, Mexico. *Marine Turtle Newsletter*. 93:10-11.
- Nichols, W.J. 2002. Endangered nomads: Sea turtles of the californias. *Bight bulletin*. Summer/Fall. No. 5.
- Nichols, W. J., Resendiz, A., Seminoff, J. A., Resendiz, B. 2002. Research on East Pacific green sea turtles on Baja California feeding grounds: a general life history model. En: *Proceedings of the Twentieth Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*. Mosier, A. ,Foley, A. ,Brost, B. (Compilers). NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-477. 369.



- Nichols, W.J. Aridjis, H., Hernandez, A., Machovina, b., Villavicencios, J. 2004. Black market trade in endangered sea turtles in the californias. [Http://: www.wildcoast.net](http://www.wildcoast.net).
- National Marine Fisheries Service and U.S. Fish and Wildlife Service. 1991. *Recovery Plan for U.S. Population of Loggerhead Turtle*. National Marine Fisheries Service, Washington,D.C.
- National Marine Fisheries Service and U.S. Fish and Wildlife Service. 1998. *Recovery Plan for U.S. Pacific Populations of the East Pacific Green Turtle (Chelonia mydas)*. National Marine Fisheries Service, Silver Spring.
- Olson, D. B. y Backus, R. H. 1985. The concentration of organisms at fronts: a cold-water fish and a warm-core Gulf Stream ring. *Journal of Marine Research*. 43:113-137
- Olson, D. B., Hitchcock, G. L., Mariano, A. J. et al. 1994. Life on the edge: marine life and fronts. *Oceanogr. Soc. J.* 7: 52-60.
- Papi, F., Luschi, P., Crosio, E. y Hughes, G.R. 1997. Satellite Tracking Experiments on the Navigational Ability and Migratory Behaviour of the Loggerhead Turtle *Caretta caretta*. *Marine Biology*. 129: 215-220.
- Parham , J. F. y Zug, G. R. 1996. *Chelonia Agassizii* - Valid Or Not?. *Marine Turtle Newsletter*. 72:2-5
- Plotkin, P.T., Byles, R.A. y Owens, D.W. 1994. Migratory and reproductive behavior of *Lepidochelys olivacea* in the eastern Pacific Ocean. En: Schroeder, B.A. y Witherington, B. E. (compiladores). *Proceedings of the Thirteenth Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*. U.S. Dep. of Comm., NOAA Tech. Memo. NMFSSEFSC- 341. 281 pp.
- Polovina, J.J., Kobayashi, D. R., Parker, D. M., Seki, M. P., Balazs, G. H. 2000. Turtles on the Edge: Movement of Loggerhead Turtles (*Caretta caretta*) along Oceanic Fronts, Spanning Longline Fishing Grounds in the Central North Pacific, 1997-1998. *Fisheries Oceanography*. 9: 71-92.
- Polovina J. J., Howell, E., Kobayashi, D. R., Seki, M. P. 2001. The transition zone chlorophyll front, a dynamic global feature defining migration and forage habitat for marine resources. *Prog. Oceanog.* 49: 469-483
- Polovina, J.J., Balazs, G.H., Howell, E.A., Parker, D.M., Seki, M.P., Dutton, P.H. 2004. Forage and migration habitat of loggerhead (*Caretta caretta*) and olive ridley (*Lepidochelys olivacea*) sea turtles in the central North Pacific Ocean. *Fisheries Oceanography*. 13(1): 36-51.
- Resendiz, A., Resendiz, B., Nichols, W. J. , Seminoff, J. A., Kamezaki, N. 1998. First confirmed east-west transpacific movement of loggerhead sea turtle, *Caretta caretta*, Released in Baja California, Mexico. *Pacific Science*. 52:151-153.
- Richardson, J.I. y McGillivray, P. 1991. Post-hatchling loggerhead turtles eat insects in Sargassum community. *Mar. Turtle Newsl.* 55:2-5.
- Riewald, B., Bolten, A.B., Bjorndal, K.A. 2000. Use of satellite telemetry to estimate post-hooking behavior and mortality of loggerhead sea turtles in the pelagic longline fishery in the Azores. *NMFS-SWFSC Final Report Order No. 40JJNF900114*.
- Robinson, I. S. 2004. *Measuring the Oceans from Space: the Principles and Methods of Satellite Oceanography*. Praxis Ed. United Kingdom.
- Sánchez-Velasco, L. y Shirasago, B. 2000. Larval Feeding of *Scomber Japonicus*(Pisces: Scombridae) in the Gulf of California and its relation to temperature and chlorophyll satellite data. *Pacific Science*. Vol. 54. no. 2. pages 127-136.



- Sato, K., Matsuzawa, Y., Tanaka, H., Bando, T., Minamikawa, S., Sakamoto, W., Naito, Y. 1998. Interesting intervals for loggerhead turtles, *Caretta caretta*, and green turtles, *Chelonia mydas*, are affected by temperature. *Canadian Journal of Zoology*. 76(9): 1651-1662.
- Schwartz, F. J. 1978. Behavioral and tolerance responses to cold water temperatures by three species of sea turtles (Reptilia, Cheloniidae) in North Carolina. *Fla. Marine Research Publication*. 33:16-18.
- Schroeder, B.A., Foley, A.M., Bagley, D.A. 2003 Nesting patterns, reproductive migrations, and adult foraging areas of loggerhead turtles. En: *Loggerhead Sea Turtles*. Bolten, A.B., Witherington, B.E. (eds.) Smithsonian Books, Washington, D.C.
- Seki, M. P., Polovina, J.J. Kobayashi, D.R., Bidigare, R.R., Mitchum, G.T. 2002. An oceanographic characterization of swordfish (*Xiphias gladius*) longline fishing grounds in the springtime subtropical North Pacific. *Fisheries Oceanography*. 11:5. 251-266.
- Seminoff, J. A., Nichols, W.J., Resendiz, A. Galvan, A. 1998. Diet composition of the black sea turtle, *Chelonia mydas agassizii*, near Baja California, Mexico. En: *Proceedings of the Eighteenth Annual Sea Turtle Symposium*. Abreu-Grobois, F. A., Briseno-Duenas, R., Marquez, R., Sarti, L. (Compiladores). NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC.
- Seminoff, J.A., Nichols, W.J., Resendiz, A. 2000. *Chelonia mydas agassizii* (East Pacific green turtle) diet. *Herpetological Review*. 31: 103
- Seminoff, J.A.; Alvarado, J., Delgado, C., Lopez, J.L. Hoeffler, G. 2002a. First direct evidence of migration by an East Pacific green sea turtle from Michoacan, Mexico to a feeding ground on the Sonoran coast of the Gulf of California. *Southwestern Naturalist*. 47: 314-16.
- Seminoff, J.A., Resendiz, A. Nichols, W.J. 2002b. Diet of East Pacific green turtles (*Chelonia mydas*) in the central Gulf of California, Mexico. *Journal of Herpetology*. 36(3): 447-53.
- Seminoff, J.A.; Resendiz, A. Nichols, W.J. 2002c. Home range of green turtles *Chelonia mydas* at a coastal foraging area in the Gulf of California, Mexico. *Marine Ecology Progress Series*. 242: 253-65.
- Seminoff, J.A.; Resendiz, A. Nichols, W.J. Jones, T.T. 2002d. Growth rates of wild green turtles (*Chelonia mydas*) at a temperate foraging area in the Gulf of California, Mexico. *Copeia*. 2002:610-617.
- Shoop, C. R., Kenney, R. D. 1992. Seasonal distributions and abundances of loggerhead and leatherback sea turtles in waters of the northeastern United States. *Herpetological Monographs*. 6: 43-67
- Solanki, H.U. Dwivedi, R.M., Nayak, S.R. 2001. Synergistic analysis of SeaWiFS chlorophyll concentration and NOAA-AVHRR SST features form exploring marine living resources. *International Journal of Remote Sensing*. 22(18):3877-3882.
- Soto-Mardones, L., Marinone, S.G., Parés-Sierra, A. 1999. Time and spatial variability of sea surface temperature in the gulf of california. *Ciencias marinas*. Vol. 25. No.1.
- Spotila, J. R. O'Connor, M. P., Paladino, F. V. 1997. Thermal biology. En: *The Biology of Sea Turtles*. Lutz, P.L. y Musick, J.A. (eds). CRC Press. Boca Raton, FL.
- Stoneburner, D.L. 1982. Satellite telemetry of loggerhead sea turtle movement in the Georgia Bight U.S.A. *Copeia* 1982:400-408.
- Timko, R. E., Kolz, A. L. 1982. Satellite sea turtle tracking. *Marine Fisheries Review*. 44(4): 19-24.



Tomas, J., Aznar, F.J., Raga, J.A. 2001. Feeding ecology of the loggerhead turtle *Caretta caretta* in the western Mediterranean. *Journal of Zoology*. 255: 525-532

Valdéz-Holguín, E. y R. Lara-Lara. (1987). "Productividad Primaria en el Golfo de California. Efectos del Evento El Niño 1982-1983". *Ciencias Marinas*. 13(2):34-50

Webster, W. D., Cook, K. A. 2001. Intraseasonal nesting activity of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in southeastern North Carolina. *American Midland Naturalist*. 145(1): 66-73

Witherington, B. E.. 1994. Some 'lost-year' turtles found. En: *Proceedings of the Thirteenth Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*. Schroeder, B.A. Witherington, B.E. (compiladores). NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFC-341. pp. 194.

Witherington, B. E. 2002. Ecology of neonate loggerhead turtles inhabiting lines of downwelling near a Gulf Stream front. *Marine Biology*. 140: 843-853

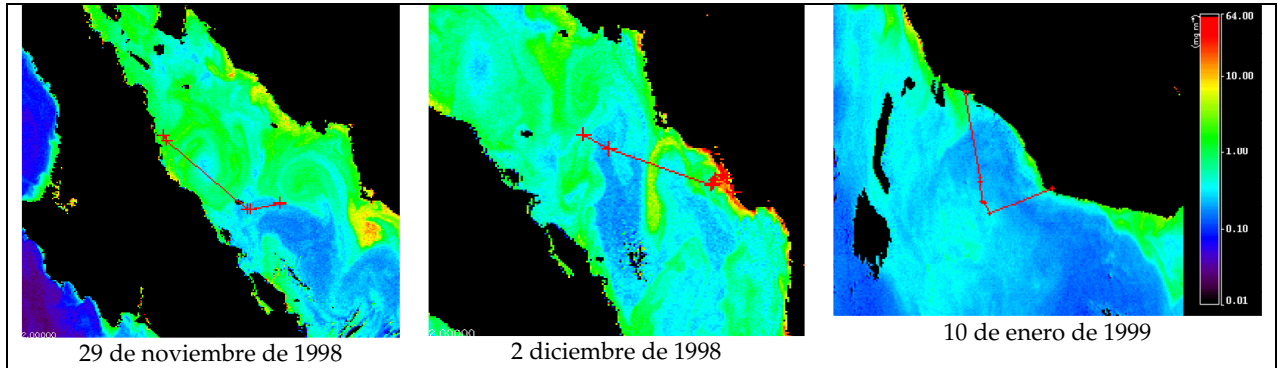
Witherington, B. E. 2003. Biological Conservation of Loggerheads: Challenges and Opportunities. En: *Loggerhead Sea Turtles*. Bolten, A.B., Witherington, B.E. (eds.) Smithsonian Books, Washington, D.C.

Wunsh, C. 1981. The promise of satellite altimetry. *Oceanus*. 24(3):17-26.

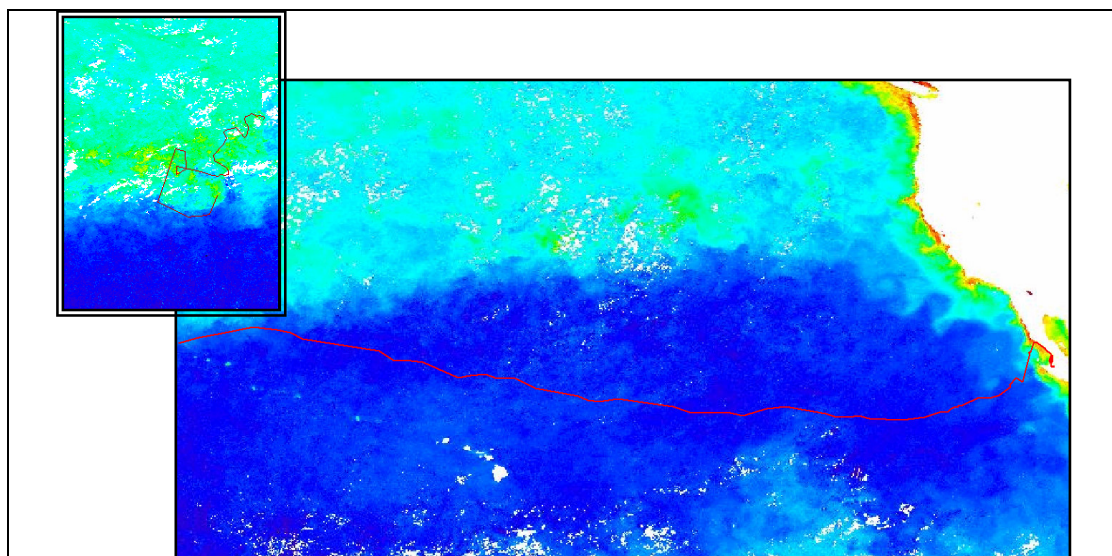
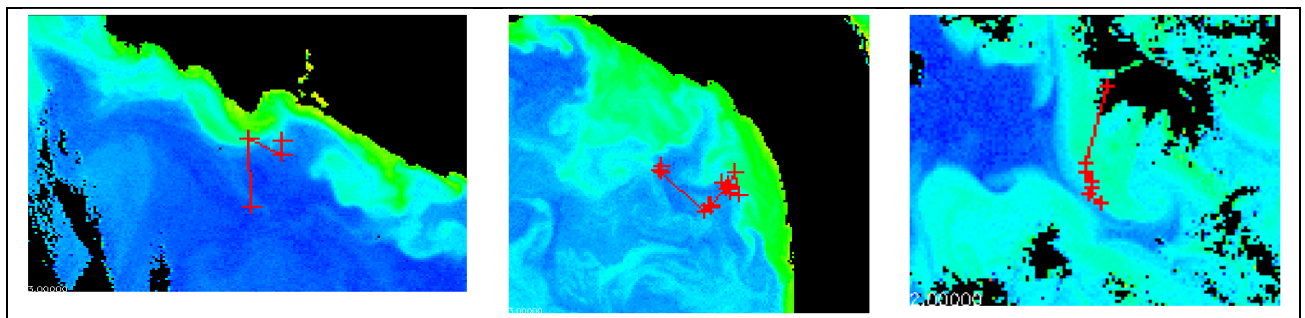


Anexo A

Imágenes de Clorofila en algunas posiciones de tortugas



Clorofila *a* en la Migración de Marisol (*Chelonia mydas*)

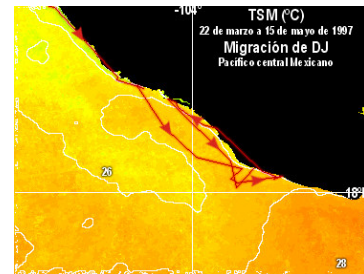
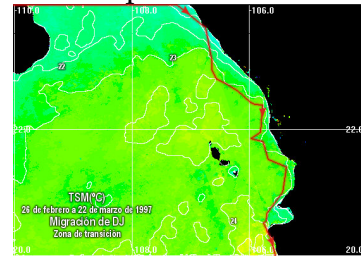
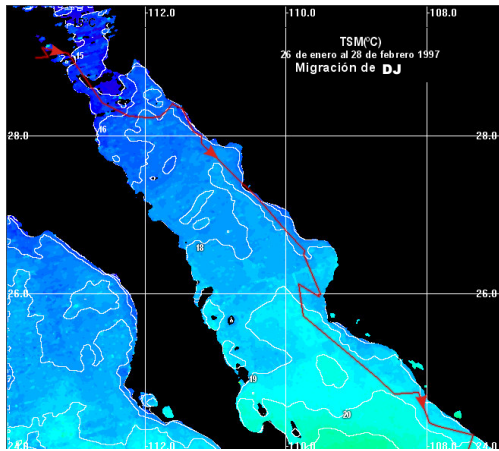


Migración Yamilet (Marzo 1999-Abril 2000) sobre Clorofila *a* de Abril de 2000

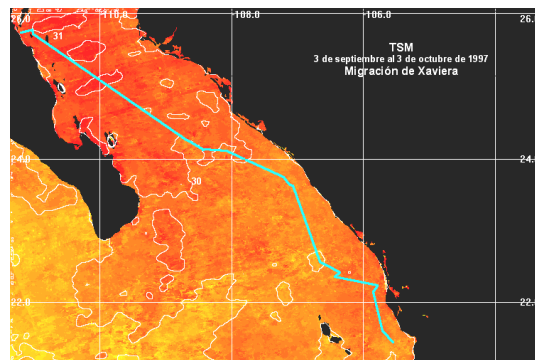


Anexo B

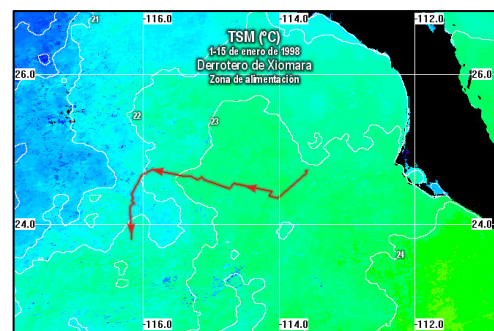
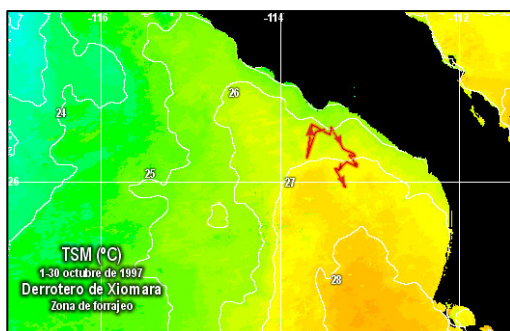
Imágenes de TSM para tortugas de distinta especie fase



TSM a lo largo de la trayectoria de una *Chelonia mydas* (DJ)



TSM a lo largo de la trayectoria de una *Chelonia mydas* (Xaviera)



TSM a lo largo de la trayectoria de una *Caretta caretta* en migración (Xiomara)