



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

Patrones estacionales del hábitat y reproducción del chorlo nevado
(*Charadrius nivosus*), en Bahía Ceuta, Sinaloa, México.

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
Ecología de aves

PRESENTA:

Biol. Salvador Gómez del Angel

Tutor principal:

Dr. Eduardo Palacios Castro

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Unidad La Paz, B.C.,
México

COMITÉ TUTOR:

Dr. Guillermo Juan Fernández Aceves

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Unidad Académica Mazatlán, Sinaloa,
México.

Dr. Mario Andrés Pardo Rueda

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Unidad La Paz, B.C.,
México.

Dr. Francisco Javier Flores Verdugo

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Unidad Académica Mazatlán, Sinaloa,
México.

Dr. Leonardo Chapa-Vargas

Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A. C., San Luis Potosí, S. L. P.,
México.

MÉXICO, CD. MX., julio de 2023.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

DOCUMENTO FINAL DE TESIS PARA SER ENVIADO A INTEGRANTES DEL JURADO DE EXAMEN DE GRADO PARA REVISION

NOMBRE DEL ALUMNO: Salvador Gómez del Angel

SEMESTRE ACTUAL (MAESTRIA): 4

TITULO DE LA TESIS:

Patrones estacionales del hábitat y reproducción del chorlo nevado
(*Charadrius nivosus*), en Bahía Ceuta, Sinaloa, México



Dr. Eduardo palacios Castro
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
CICESE, Unidad La Paz, B.C., México

México, Ciudad de México, julio de 2023.

1. AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, en particular a la Unidad Académica Mazatlán donde llevé a cabo el plan de estudios de este posgrado. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por brindarme la beca a lo largo del programa de maestría. Apoyo financiero para la obtención de datos en campo que fue proporcionado por el programa “Dollar to Conservation program” por parte de Tracy Aviary, Salt Lake City, Utah, USA.

Agradezco profundamente a mi asesor Dr. Eduardo Palacios, quien en todo momento me motivo y estuvo cerca para hacerme ver mis errores, pero también notar mis aciertos. A su esposa Lucy, quien también me ofreció su apoyo y confianza cuando lo necesite. Les agradezco con toda sinceridad su ayuda en estos años de trabajar juntos, esperando llevar sus aportes el resto de mi vida y sepan que jamás olvidaré sus atenciones, su amistad, sus enseñanzas y la comida.

Agradezco a mi comité tutor: Dr. Guillermo Fernández, por su apoyo durante mi estancia en la Unidad Académica Mazatlán, y por su revisión a profundidad de este manuscrito. Al Dr. Mario Pardo, por su revisión y atención a este documento. Al Dr. Francisco Flores, por su apoyo para poder dar conclusión a mi proyecto de tesis. Al Dr. Leonardo Chapa-Vargas, por sus revisiones previas de mi protocolo.

Muy importante para mí crecimiento profesional y personal, es el M. en C. Medardo Cruz López, colega de laboratorio, quien tuvo el carácter para enseñarme más allá de lo académico, aprendí de ti muchas cosas que me servirán por mucho tiempo. Agradezco todas tus atenciones, tu abrigo, tu candor con el que decías las cosas, la traducción de su idioma sinaloense y gracias por ser tan paciente y apoyarme más allá. A la Dra. Juanita Fonseca, tu esposa, también muy paciente conmigo, por su apoyo y consejos le estoy muy agradecido.

Durante mi estancia en campo, el Biol. Iván Guardado, responsable del campamento Tortuguero de Bahía Ceuta, Sinaloa, me brindó apoyo logístico y personal. Aprendí de ti un estilo de vivir muy “al modo”. Gracias Iván por tu compañía que fue muy valiosa durante los meses de obtención de datos. Al Dr. Clemens Küpper por su apoyo académico durante los años de obtención de datos en campo, y por brindarme la confianza para el desarrollo de este proyecto.

Agradezco a mis padres, Salvador Gómez y María Dolores Del Angel, quienes siempre me dejaron tomar mis decisiones para alcanzar mis metas. Mi hermana Blanca, siempre pendiente de mí, apoyándome en todo. Mis hermanos Luis Angel y David también comparten este logro. A mi sobrina Maya. A toda mi familia les agradezco.

Llegar hasta este punto también fue por el apoyo personal del M. en C. Atahualpa E. DeSucre, quién me estuvo apoyando ya por más de diez años, en la vida académica y de manera personal. Siempre agradecido contigo “Atarantahualpa”.

A mis amigos quienes siempre confiaron y apoyaron.

INDICE.

1. AGRADECIMIENTOS.....	III
2. RESUMEN.....	X
3. ABSTRACT.....	XI
4. INTRODUCCIÓN.....	1
5. ANTECEDENTES.....	4
6. HIPÓTESIS.....	7
7. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	8
8. OBJETIVO GENERAL.....	8
- Objetivos particulares	8
9. MÉTODOS.....	9
- - Área de estudio.	9
- - Variación en las condiciones del hábitat.....	11
- - Condición corporal de los pollos y condiciones del hábitat.....	13
- Éxito de reproducción y Supervivencia	15
10. RESULTADOS.	18
- - Variación de las condiciones del hábitat.....	18
- - Condición corporal (SMI) de los pollos.	24
- Éxito de reproducción y supervivencia	28
11. DISCUSIÓN.....	36
12. CONCLUSIONES.....	42
13. LITERATURA CITADA.	43

ÍNDICE DE FIGURAS.

- Figura 1.** Localización geográfica de la salina en Bahía Ceuta, Sinaloa, México. Se muestran delimitadas en color rojo cada una de las unidades de muestreo (A, B, C, D, y E) en las cuales se dividió la salina para su estudio. 10
- Figura 2.-** A). Proporción de superficie inundada, lodosa, y el número de pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) eclosionados en la salina de Ceuta, Sinaloa, México, a lo largo de la temporada de reproducción de 2007. B, C y D) Polígono del área de estudio donde se muestra la clasificación supervisada de las condiciones del hábitat en Ceuta, Sinaloa, México, durante la temporada de 2007..... 20
- Figura 3. -** A) Proporción de superficie inundada, con lodo y el número de pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) eclosionados en la salina de Ceuta, Sinaloa, México, a lo largo de la temporada de reproducción de 2010. B, C y D) Polígono de la zona de estudio donde se muestra la clasificación supervisada de las condiciones del hábitat en Ceuta, Sinaloa, México, durante la temporada de 2010..... 21
- Figura 4. -** A) Proporción de superficie inundada, con lodo y el número de pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) presentes en la salina de Ceuta, Sinaloa, México, a lo largo de la temporada de reproducción de 2015. B, C y D) Polígono de la zona de estudio donde se muestra la clasificación supervisada de las condiciones del hábitat en Ceuta, Sinaloa, México, durante la temporada de 2015..... 22
- Figura 5. –** A) Proporción de superficie inundada, con lodo estimada visualmente y el número de pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) eclosionados en la salina de Ceuta, Sinaloa, México, a lo largo de la temporada de reproducción de 2016. 23
- Figura 6. -** A) Proporción de superficie inundada, con lodo estimada visualmente y el número de pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) eclosionados en la salina de Ceuta, Sinaloa, México, a lo largo de la temporada de reproducción de 2017. 23
- Figura 7.-** Valores del SMI de los pollos con más de 5 días de edad del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*), para las temporadas de reproducción de 2007 (A), 2010 (B), 2015 (C), 2016 (D), y 2017 (E) en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México. (La línea recta muestra el valor promedio del SMI de cada temporada de reproducción) 25

Figura 8. Relación no lineal entre la longitud del tarso y la masa corporal de los pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) en la salina abandonada de Bahía Ceuta, Sinaloa, México, en las temporadas de 2007, 2010, 2015, 2016 y 2017 25

Figura 9.- Número de hembras, machos y pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) capturados durante las temporadas de reproducción de 2007, 2010, 2015, 2016 y 2017 en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México. 29

Figura 10. Destino de los nidos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*), durante las temporadas reproductivas de 2007, 2010, 2015, 2016 y 2017 en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México. 29

Figura 11. Fechas de eclosión estandarizada de pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*), a lo largo de la temporada de reproducción de 2007, 2010, 2015, 2016, 2017, en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México. 32

Figura 12. Número de nidos, pollos y volantones del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) producidos durante las temporadas de 2007, 2010, 2015, 1016 y 2017 en la salina de Bahía Ceuta Sinaloa, México..... 35

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Periodicidad de las imágenes satelitales Landsat 5 y 7, obtenidas del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)	12
Tabla 2. Valores promedio del índice de masa estandarizado (SMI) de los pollos del chorlo nevado (<i>Charadrius nivosus</i>) al momento de su eclosión y después de > 5 días de edad, durante las temporadas de reproducción de 2007, 2010, 2015, 2016 y 2017 en la salina de Bahía de Ceuta, Sinaloa, México.	26
Tabla 3.- Selección del modelo del índice de masa estandarizada (SMI) en los pollos de chorlo nevado (<i>Charadrius nivosus</i>), como una función de: las condiciones del hábitat (Hábitat = Superficie inundada + superficie lodosa + superficie seca); Humedad = superficie inundada + superficie lodosa, SupInun = Superficie inundada; SupLod = superficie lodosa), las temporadas de reproducción (Año), y cada una de las unidades de muestreo (Sitio). K = número de parámetros, AIC = Criterio de información de Akaike, ΔAIC = diferencia del criterio de información Akaike, entre un modelo y el mejor modelo, AIC_w = peso de criterio de información de Akaike, A_w = peso acumulado del AIC_w)	26
Tabla 4. Coeficientes estimados de cada parámetro del modelo del SMI en función de las condiciones del hábitat y de las temporadas de reproducción de los pollos del chorlo nevado (<i>Charadrius nivosus</i>) en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México, durante las temporadas de reproducción de 2007, 2010, 2015, 2016 y 2017. (SupInun = superficie inundada, SupLod = superficie lodosa, SupSec = superficie seca).....	27
Tabla 5. Número de adultos y pollos del chorlo nevado (<i>Charadrius nivosus</i>) capturados en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México, por unidad de muestreo durante las temporadas de reproducción de 2007, 2010, 2015, 2016 y 2017.....	28
Tabla 6. Tasa de supervivencia anual de nidos del chorlo nevado (<i>Charadrius nivosus</i>) en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México, durante cinco temporadas de reproducción	30
Tabla 7. Selección de modelos para la tasa de supervivencia diaria de nidos (TSN) del chorlo nevado (<i>Charadrius nivosus</i>) en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México, como	

una función de la variación anual (Año), una tendencia lineal de establecimiento de cada nido en la temporada (Tiempo), y edad del nido (EdadNido). (K = número de parámetros modelados, ΔAIC_c = diferencia del criterio de información Akaike corregido, entre un modelo y el mejor modelo, y w_i = peso relativo de Akaike). 31

Tabla 8.- Tasa de supervivencia anual de pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México, durante las temporadas de reproducción de 2007, 2010, 2015, 2016 y 2017. 33

Tabla 9.- Selección de modelos para la probabilidad de encuentro (*P*) del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) durante cinco temporadas de reproducción en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México, como una función de la variación anual (Año), una tendencia lineal a través del año (Tiempo), el día de la temporada (Día) características del hábitat (SupInun = superficie inundada, SupLod = superficie lodosa, y de la condición corporal de los pollos (SMI). (K = número de parámetros modelados, ΔAIC_c = diferencia del criterio de información Akaike corregido, entre un modelo y el mejor modelo, y w_i = peso relativo de Akaike). 34

Tabla 10.- Selección de modelos de la supervivencia de pollos (*Phi*) del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) a partir del mejor modelo de probabilidad de encuentro (*P*). (variación anual (Año), una tendencia lineal a través del año (Tiempo), el día de la temporada (Día), K = número de parámetros modelados, ΔAIC_c = diferencia del criterio de información Akaike corregido, entre un modelo y el mejor modelo, y w_i = peso relativo de Akaike). 34

2. RESUMEN.

La pérdida o modificación de humedales debido a las actividades humanas ha provocado la disminución poblacional de varias especies de aves que los habitan. Las aves playeras dependen de estos hábitats en su ciclo de vida. En Norte América las poblaciones de aves playeras han disminuido en un 70 % desde 1973. El chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) es una de estas especies que está amenazada en su intervalo de distribución. La mayor parte de la población de este chorlo se distribuye en la costa del noroeste de México, donde se ha detectado una disminución en su población reproductiva, debido a un bajo éxito reproductivo. Se presume que una de las variables responsables es la condición del hábitat, especialmente en la etapa de crecimiento de los pollos. Durante las temporadas reproductivas del período 2007-2017 se evaluó la variación de la superficie inundada y lodosa, en relación con el éxito reproductivo del chorlo nevado en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa. También se analizó el índice de masa corporal (SMI) de los pollos como otra variable de respuesta que pudiera ser influenciada por las condiciones del hábitat y en consecuencia influyera el éxito de reproducción. Durante 2007 la variación del hábitat fue la esperada, esto es, una combinación de áreas parcialmente inundadas, lodosas y secas. En el resto de las temporadas las condiciones del hábitat fueron impredecibles debido al fenómeno del mar de fondo (mareas excepcionalmente altas), bombeo de agua de granjas acuícolas cercanas y temperaturas extremas. Temporadas con buenas condiciones del hábitat coincidieron con tasas de supervivencia de nido y de pollo altas. La tasa de supervivencia diaria de pollos no se vio influenciada por las condiciones del hábitat, ni por el SMI. Sin embargo, el SMI se asoció positiva y significativamente con las condiciones del hábitat y entre años. Fue evidente una disminución en el número de nidos pollos y volantones producidos a lo largo del periodo de estudio. La temperatura se asoció significativamente y de manera negativa con el número de volantones producidos. Condiciones adversas del hábitat para la accesibilidad a fuentes de alimento pueden ocasionar dispersión de los chorlos, pero la creación de estanques artificiales con profundidades adecuadas, así como el control de la salinidad, podrían contribuir a la permanencia y uso del hábitat por parte del chorlo nevado en la salina de Bahía Ceuta.

3. ABSTRACT.

The loss and modification of wetlands due to human activities have caused the population decline of several species of birds that depend on them during all phases of their life cycle, such as shorebirds. In North America, shorebird populations have declined by 70 % since 1973. The Snowy Plover (*Charadrius nivosus*) is a threatened shorebird. In Mexico, most of its population breeds along the northwest coast of Mexico, but its breeding population has been decreasing due to low reproductive success. It is presumed that one of the ecological drivers is the condition of the habitat, especially during the chick-rearing period. During the breeding seasons of 2007-2017, breeding habitat conditions indicated by variation of flooded and exposed intertidal area was associated with Snowy Plover reproductive success in Bahía Ceuta, Sinaloa. Body mass index (SMI) was also analyzed as another response variable that habitat conditions could influence and thus influence reproductive success. During 2007, the habitat variation was as expected: a combination of partially flooded, mudflats and dry areas. During the other seasons, habitat condition was unpredictable due to exceptionally high tides, the pumping of water from nearby aquaculture farms into the breeding area, and extreme temperatures. Seasons with suitable habitats were correlated to high nest and chick survival rates. Habitat conditions or SMI did not influence the daily survival rate of chicks. However, the SMI was positively and significantly associated with the habitat conditions and years. Adverse habitat conditions for the accessibility to food resources may cause the dispersion of plovers. Still, the creation of artificial ponds with adequate depths, and the control of salinity, could contribute to the permanence and use of this habitat by the Snowy Plover in Bahía Ceuta.

4. INTRODUCCIÓN.

La pérdida y degradación del hábitat es una de las principales causas de la tasa actual de extinción de especies en el mundo (Fahrig, 2003). Los humedales son considerados como los hábitats más impactados durante los últimos 200 años (Piersma y Lindström, 2004), principalmente a causa del desarrollo poblacional y económico del ser humano (Reid *et al.*, 2005). A nivel mundial, se estima una pérdida del 70 % de los humedales que existían a partir del siglo XX y se considera a los humedales costeros como los hábitats más susceptibles a ser degradados (Davidson, 2014). Esta constante pérdida de hábitat, en conjunto con fluctuaciones climáticas extremas, aumentan la vulnerabilidad de los humedales (Ma *et al.*, 2010) y afectan la biodiversidad de especies que albergan (Mantyka-Pringle *et al.*, 2012). A consecuencia de estos factores se han observado cambios en el ciclo de vida de las especies, como el éxito de reproducción, migración, distribución o cambios en su tamaño poblacional (Bradley *et al.*, 1999; Brown *et al.*, 1999; Cotton, 2003).

Las aves playeras (CHARADRIIFORMES) son un grupo de aves asociado a los humedales, ya que los usan como sitios de descanso, reproducción o alimentación y suelen ser buenos indicadores de la salud de estos hábitats (Thomas *et al.*, 2006). Actualmente, las poblaciones de aves playeras migratorias de Norte América han disminuido en un 70 % desde 1973, considerando al desarrollo en la zona costera (hoteles, puertos, etc.), aumento del nivel del mar, disturbio humano y derrames de petróleo como las principales causas (North American Bird Conservation Initiative, 2016; Rosenberg *et al.*, 2019).

Esta disminución poblacional podría estar asociada al régimen hídrico natural y a la manipulación de la profundidad del agua en los humedales artificiales (Colwell y Taft, 2000; Isola *et al.*, 2002). Como resultado la accesibilidad a fuentes de alimento para las aves playeras es diferente (Wolfe *et al.*, 2014). Las aves playeras han desarrollado diferentes estrategias de forrajeo y coordinan sus eventos reproductivos y migratorios con la disponibilidad de alimento (Lack, 1968; Collazo *et al.*, 2002; De Marchi *et al.*, 2015). Las condiciones adversas actuales, modificarían cualquier rasgo de vida a lo largo de su ciclo anual, regulando así su tamaño poblacional (Colwell *et al.*, 2007; Johnson, 2007). Por ejemplo, en humedales degradados el suelo pierde humedad y se

vuelve más seco, ocasionando que las presas ya no estén accesibles para las aves playeras (Isola *et al.*, 2000; Collazo *et al.*, 2002). De este modo las aves modifican su conducta de forrajeo (Burger, 1991; Rosa *et al.*, 2007), disminuyen el número de parejas en reproducción (Lack, 1968), o se incrementa la mortalidad de crías (Blonqvist y Johansson, 1995; Dreitz, 2009).

El periodo de crianza es una etapa crucial en la dinámica poblacional de una especie. En aves playeras nidífugas, los padres tienen la opción de mover a sus crías en busca de sitios óptimos, donde puedan alimentarse, evitar competencia con conespecíficos, refugiarse, emplumar y ser completamente independientes (Kosztolányi *et al.*, 2007). Sin embargo, durante este desplazamiento las crías se exponen a periodos prolongados de ayuno, gastan más energía en su termorregulación y su condición corporal se degrada, propiciando una disminución en su probabilidad de supervivencia (Blonqvist y Johansson, 1995; Noszály *et al.*, 1995; Dreitz, 2009). Además, si consideramos un humedal degradado, adultos y crías se concentrarían en áreas óptimas pequeñas, las cuales podrían estar asociadas a una mayor tasa de depredación, competencia e infanticidio (Houston *et al.*, 1993; Kosztolányi *et al.*, 2007).

El chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) es una especie de ave playera de tamaño pequeño (14-17 cm y 37-44 g) que anida en el suelo y presenta un sistema de apareamiento flexible, incluyendo monogamia, poliandria y poliginia secuencial (Warriner *et al.*, 1986). Su biología reproductiva es bastante conocida, suele poner tres huevos, el cuidado parental es otorgado por uno o ambos padres, los pollos son nidífugos y el éxito de reproducción es bajo (Page *et al.*, 2020). Su intervalo de distribución incluye ambientes costeros y lagos salobres continentales, caracterizados por ser humedales abiertos de escasa vegetación (Paton, 1995; Page *et al.*, 2020).

Actualmente, la población reproductiva en Norte América se estima en 25,869 individuos y cerca del 9 % de la población se encuentra en México (Thomas *et al.*, 2012). Sus poblaciones están en descenso debido a la depredación de huevos y pollos por parte de vertebrados introducidos y nativos, mortalidad asociada a actividades humanas recreativas, pérdida y degradación de hábitat (U.S. FWS, 2007; Galindo-Espinosa y Palacios, 2015) y a condiciones climáticas adversas (Küpper *et al.*, 2012).

Por eso, esta especie se encuentra catalogada como amenazada tanto en México como en EEUU (U.S. FWS, 2007; SEMARNAT, 2019).

Aproximadamente el 10 % de la población reproductiva de este chorlo en México, fue reportada en una salina abandonada al sur de la Bahía Ceuta, Sinaloa, México, siendo entonces la población más importante a nivel nacional (Küpper *et al.*, 2007). En años recientes, se detectó una disminución considerable del número de parejas y del éxito de reproducción en el sitio. Un estudio estimó una alta probabilidad de extinción local de esta especie en los próximos 25 años, si no se llevan a cabo acciones de manejo inmediatas (Cruz-López *et al.*, 2017). La evidencia empírica sugiere que las condiciones del hábitat, particularmente los niveles de humectación del suelo, influyen sobre el número de individuos que usan el hábitat y sobre la supervivencia de pollos, lo cual a su vez influye el éxito de reproducción (Küpper *et al.*, 2012). Este estudio tiene por objetivo determinar el efecto de las condiciones del hábitat, particularmente la superficie inundada y lodosa en la salina, sobre la condición corporal de las crías del chorlo nevado y en el éxito reproductivo de la especie. Los resultados pueden ayudar a entender el declive poblacional reportado en la salina e identificar acciones de manejo del sitio dirigidas al chorlo nevado.

5. ANTECEDENTES.

La relación entre las condiciones del hábitat en humedales costeros y la biología reproductiva de aves acuáticas, ha sido establecida previamente en diferentes estudios a nivel mundial (Ma *et al.*, 2010). Cada especie tiene requerimientos de hábitats diferentes, pero los niveles de humectación del suelo y la accesibilidad a fuentes de alimentación son las variables más críticas para el uso del hábitat (Colwell y Taft, 2000; Ma *et al.*, 2010). Por ejemplo, Smith (1970) comprobó que el pato golondrino (*Anas acuta*) se mueve miles de millas hacia el Ártico buscando zonas con mayor cantidad de agua, cuando sus áreas típicas de reproducción se encuentran en sequía. Además, encontró que aquellos individuos que migran, suelen tener un éxito reproductivo mayor que aquellos que permanecen en sus áreas típicas de reproducción. Por su parte, Frederick y Collopy (1989) encontraron que el inicio y éxito de anidación del ibis blanco (*Eudocimus albus*) estuvo asociado a la fluctuación de los niveles de agua en el Parque Nacional Everglades, Florida, USA. Concluyeron que cuando hay más agua en el sistema, el éxito de anidación del ibis blanco es mayor. Cézilly *et al.*, (1995) encontraron una alta relación entre la condición corporal de pollos de flamencos (*Phoenicopterus ruber roseus*) y los niveles de agua dentro de la salina de Camargue, al sur de Francia. Si en la salina hay niveles altos de agua los pollos presentan una mejor condición corporal y por lo tanto un éxito reproductivo mayor.

En el caso de aves playeras, Velasquez (1992) comprobó que durante el periodo de migración en el Río Berg, Sudáfrica, este grupo de aves incrementan su abundancia cuando el nivel de agua es bajo, ya que la composición de presas cambia en respuesta a la concentración de agua y salinidad en los diferentes estanques. Collazo *et al.*, (2002) mediante el manejo hidráulico en los Refugios Nacionales de Vida Silvestre de la Isla Pea (Carolina del Norte) y la Isla Merrit (Florida) determinaron que creando humedales con profundidades entre los 0-4 cm, aumentaban la abundancia y permanencia de individuos del playero dorso rojo (*Calidris alpina*) y del playero semipalmado (*C. pusilla*). Por el contrario, en estanques donde había más cantidad de agua (> 4 cm de profundidad) se observó una menor cantidad de aves.

En el chorlo cangrejero (*Dromas ardeola*) un ave playera tropical del noreste de África, que se alimenta principalmente del cangrejo fantasma (*Ocypode africana*), su

temporada de reproducción inicia después de las lluvias, cuando la cantidad de agua es baja y permite que sus presas construyan sus madrigueras (De Marchi *et al.*, 2015). Estos eventos determinan la fenología reproductiva de esta especie, ya que la mayoría de los adultos logran coincidir la eclosión de sus crías con una alta disponibilidad de alimento. En el caso del chorlo de Kent (*Charadrius alexandrinus*), una especie europea cercana al chorlo nevado, se comprobó que los padres llevan a sus crías hacia lugares con una mayor disponibilidad de alimento (áreas húmedas), logrando así una tasa de crecimiento más rápida y un éxito de volantón mayor, en comparación a hábitats secos o pobres en fuentes de alimento (Kosztolányi *et al.*, 2007).

En la población del chorlo nevado (*C. nivosus*) de Norte América, Ellis *et al.* (2015) evaluaron los aspectos que afectan el éxito de anidación del chorlo nevado en el Gran Lago Salado, Utah, USA, encontraron que la principal causa de un bajo éxito de nido es la depredación con un 72.9 % de los nidos perdidos en 2017. Sin embargo, este bajo éxito de reproducción está relacionado con la proximidad a los diques (hacia zonas más húmedas y accesibles a depredadores). Aquellos nidos que estuvieron localizados a unos 100 m de los diques presentaron una tasa de supervivencia diaria mayor.

En México, el chorlo nevado se distribuye a lo largo de ambas costas, en la zona centro del país y son conocidas alrededor de una docena de sitios importantes para su reproducción. Se han identificado varios factores de origen antrópico y del hábitat, que impactan el éxito de reproducción de esta especie. Por ejemplo, en Baja California Norte, en el Noroeste de México, se ha documentado que el incremento en las actividades recreativas y el disturbio humano han ocasionado un declive poblacional durante la temporada de reproducción (Galindo-Espinosa y Palacios 2015). En la zona Centro del País, se redujo considerablemente el área disponible para su anidación, debido al cambio de uso de suelo para la construcción de un aeropuerto en la ahora llamada “Área de Protección de Recursos Naturales Lago de Texcoco” (CONANP 2021). En la laguna Atotonilco, Jalisco, se reportó un descenso en el número de nidos exitosos entre 2016 y 2019, considerando la sequía como un factor determinante (Quintero-Feliz y Contreras, 2019). En este sentido, en coordinación con la sociedad, se provee agua de manera artificial a la laguna durante le temporada de crianza,

aunque no hay una evaluación formal de los resultados de estos experimentos (Quintero-Feliz y Contreras, 2019). Por su parte, Ortega-Solís *et al.* (2022) en Marismas Nacionales, Nayarit, evaluaron características del hábitat, como tipo de sustrato, distancia a la vegetación y al agua, para modelar la supervivencia de nido. Encontraron que la edad del nido y la distancia a la vegetación afectan de manera positiva la tasa de supervivencia diaria de nidos.

Finalmente, en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, el chorlo nevado está adaptado a ciertas condiciones ambientales constantes como la pleamar y bajamar, o subidas de marea que ocurren cada luna llena. Los adultos coordinan la ubicación y el inicio de puesta de huevos con dichos eventos, para evitar pérdidas de nidos por inundación (Plaschke *et al.*, 2019). Sin embargo, son eventos tanto de sequía prolongada, como inundaciones repentinas, durante el periodo de crianza de los pollos, las que se consideran como factores que afectan directamente el éxito de reproducción de esta especie (Küpper *et al.*, 2012).

6. HIPÓTESIS.

El chorlo nevado tiene requerimientos específicos para su reproducción y alimentación. Por ejemplo, zonas alejadas de la influencia de mareas, áreas libres de vegetación para la construcción de nidos, cobertura de vegetación para esconderse de depredadores y superficies inundadas (< 4 cm de profundidad) para el forrajeo de adultos y los pollos (Colwell *et al.*, 2005; Webber *et al.*, 2013). En la salina de Bahía Ceuta, estas condiciones son variables a lo largo de la temporada de reproducción, siguiendo un patrón determinado por condiciones ambientales cíclicas, a las cuales el chorlo nevado aparentemente está adaptado (Plaschke *et al.*, 2019). Sin embargo, factores como el azolvamiento de las canales que llevan agua a la salina, temperaturas extremas, pueden impactar la constancia de algunos eventos, modificando de manera impredecible las condiciones del humedal.

La disminución de la superficie inundada conforme avanza la temporada para dar lugar a un mosaico de áreas inundadas, lodosas, secas y con vegetación para el refugio y alimentación de pollos, predicen una temporada reproductiva buena. Condiciones como periodos prolongados de sequía, de inundación extrema o repentina, consideradas como desfavorables, conducirán a un éxito reproductivo bajo. Aunque los padres pueden adecuarse a condiciones adversas, a través de diferentes estrategias, como disminuir el tamaño de la nidada, se espera que, durante temporadas óptimas, la población reproductiva sea mayor y más exitosa (individuos, nidos exitosos, éxito de nido y volantón alto) en comparación de temporadas desfavorables.

Además, se predice que en temporadas óptimas donde existan áreas adecuadas para el forrajeo, los pollos presentarán un buen índice corporal, debido a una adecuada relación entre su masa corporal y la longitud de su tarso (una medida lineal de crecimiento en este chorlo), y lo contrario en condiciones desfavorables. De esta forma, se espera encontrar una relación entre la condición corporal de los pollos con las características del hábitat y la tasa de supervivencia diaria de los pollos.

7. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿En qué magnitud varía la proporción de superficie húmeda (inundada o lodosa) durante y entre temporadas de reproducción?
- ¿La variación de las condiciones del hábitat impacta la condición corporal de los pollos?
- ¿Esta variación tendrá algún efecto sobre el éxito reproductivo de la especie?

8. OBJETIVO GENERAL

Cuantificar la variación en el grado de humectación del hábitat de reproducción y su efecto sobre el éxito reproductivo y la condición corporal de los pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) en una salina abandonada en Bahía Ceuta, Sinaloa, México.

- *Objetivos particulares*

- Evaluar la variación en la proporción de superficie inundada y lodosa durante y entre cinco temporadas de reproducción del chorlo nevado.
- Determinar la relación entre las condiciones del hábitat y la condición corporal de los pollos.
- Calcular el éxito de reproducción entre años y relacionarlo con las condiciones del hábitat.

9. MÉTODOS.

-- Área de estudio.

El trabajo de campo se llevó a cabo en una pequeña salina abandonada ubicada al sur del Sistema Lagunar Bahía Ceuta, Sinaloa, México (24° 06' a 24° 15' N y 107° 11' a 107° 24' W; Figura 1). La salina está conformada de planicies abiertas y estanques someros, rodeados por vegetación halófila como las salicornias (*Salicornia pacifica* y *S. bigelovii*) y el romerito salado (*Suaeda torreyana*) (Rzedowski, 1973). La parte norte y noreste de la salina están delimitadas por parches de mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*). El área de estudio presenta una temperatura media anual de 23.3 °C, una oscilación térmica extremosa (máxima de 41 °C y mínima de 3 °C) y una precipitación media anual de 473 mm, con la mayoría de las lluvias concentradas durante los meses de Julio a Septiembre (Jáuregui, 2003).

La salina fue dividida en cinco unidades de muestreo (A, B, C, D, y E; Figura 1) cada una con características y tamaños diferentes. La unidad A es la de mayor tamaño con 38.6 % (64.6 ha) mantiene poca agua de mareas, además es la unidad con menor cantidad de vegetación y es frecuente detectar camionetas o cuatrimotos dentro del área. La unidad B se encuentra al noroeste, a un costado de la ruta de pescadores, por lo que presenta perturbación humana, también es la unidad más pequeña (2.9 %; 4.8 ha). La unidad C es la más heterogénea ya que presenta seis estanques someros que están delimitados por bordos de gravas, áreas con arenas, limos, escombros, con vegetación herbácea y arbustiva, y ocupa el 12 % del área de estudio (20.1 ha). La unidad D, es el área más al norte de la salina, está delimitada por un bosque de mangle botoncillo, es la unidad con mayor afluencia de agua de mareas y el área que se mantiene durante más tiempo húmeda, ocupa 31.5 % de la zona (52.7 ha). Finalmente, la unidad E, que representa el 14.9 % (24.9 ha) del área de estudio, presenta unos canales que en ocasiones mantienen agua durante la temporada de reproducción, está delimitada por mangle botoncillo y en sus extremos existen parches de salicornia; es frecuente observar ganado atravesando por esta zona.

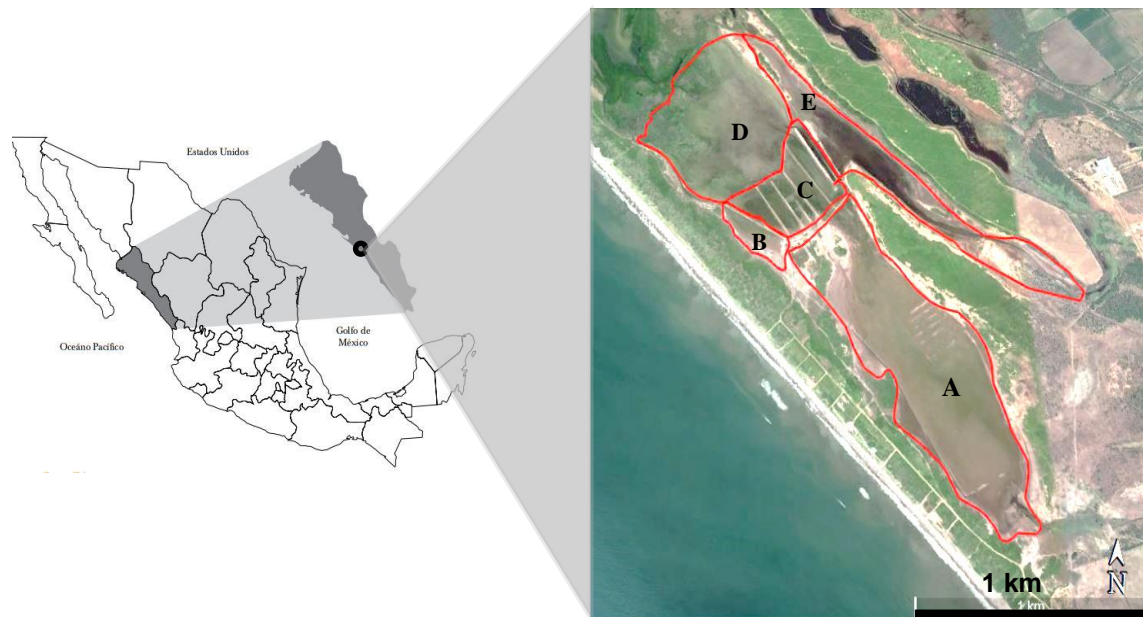


Figura 1. Localización geográfica de la salina en Bahía Ceuta, Sinaloa, México. Se muestran delimitadas en color rojo cada una de las unidades de muestreo (A, B, C, D, y E) en las cuales se dividió la salina para su estudio.

-- Variación en las condiciones del hábitat.

Las condiciones del hábitat fueron evaluadas en dos categorías: a) proporción de la superficie inundada, sin considerar la profundidad; y b) proporción de superficie lodosa. Se calcularon la superficie seca y con vegetación como complemento. Para cuantificar las proporciones de estas variables se utilizaron dos métodos: clasificación supervisada utilizando imágenes satelitales Landsat y mediante una estimación visual directa en campo del porcentaje del área inundada y lodosa.

Para la temporada de 2007 se utilizaron cuatro imágenes Landsat 5 y para las temporadas de 2010 y 2015 tres imágenes Landsat 7, correspondientes a los meses de mayo a julio (Tabla 1). Las imágenes fueron descargadas del portal del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). Se seleccionaron aquellas imágenes sin cobertura de nubes y que cubrieran “un punto en el tiempo” durante la crianza de pollos (la periodicidad de las imágenes seleccionadas dependió de su disponibilidad). Las imágenes fueron procesadas en el software QGIS, versión 2.16.2, aplicando la combinación de bandas 7, 4 y 3 (canales) que pertenecen a las bandas del infrarrojo medio (2.08.-2.35 μm), infrarrojo cercano (0.76-0.90 μm) y rojo visible (0.63-0.69 μm) que son utilizados para resaltar los cuerpos de agua en el terreno (Gratto-Trevor, 1996). Para las imágenes Landsat 7, también se utilizó la combinación de bandas en falso color: 4, 5 y 3 (infrarrojo termal 1.55-1.75 μm), dicha combinación realza los límites entre el agua y la tierra en áreas con mayor cantidad de lodo que de agua. Bajo estas combinaciones de color los parches de vegetación aparecen de color rojo, naranja o bien verde, las áreas con diferentes grados de humectación aparecen en tonos de color oscuro y las áreas secas en colores pálidos (por ejemplo, café o blanco).

Posterior al realce de las áreas con vegetación, inundadas, lodosas y secas, se procedió a realizar una clasificación supervisada para obtener las proporciones de estas condiciones del hábitat. Se utilizó el Semi-Automatic Classification Plugin versión 6.1.0.1 del software QGIS versión 2.16.2 (Congedo, 2016). Una vez procesadas las imágenes Landsat, éstas fueron recortadas con un polígono del área de estudio obtenido mediante un sistema de posicionamiento global (GPS). Este polígono incluye cada una de las cinco unidades de muestreo. Se creó una nueva capa llamada “Áreas de entrenamiento” en la cual se dibujaron (delimitaron) los polígonos para diferentes elementos. Por ejemplo, manglar, agua, lodo, caminos, cultivos, hierbas, salitre, entre

otros, cada uno de estos elementos denominados como macroclases. Para una clasificación más precisa se recomienda tener un mayor número de macroclases que describan de manera precisa el área de interés (Congedo, 2016). Después de la creación de cada macroclase automáticamente se calculó la firma espectral en la imagen completa a partir de la comparación de los valores de cada pixel con la firma espectral de las clases de referencia (macroclases). De esta forma y de acuerdo al color asignado para cada macroclase, se calculó la proporción de cada variable del hábitat utilizando la calculadora “raster” incluida en el mismo programa. El error de clasificación para cada imagen satelital no fue calculado. Durante las temporadas de reproducción de 2016 y 2017 la proporción de superficie inundada, lodosa y seca, fue obtenida mediante una estimación visual (un solo observador) al momento de la captura de un polluelo. Se consideró inundado toda aquella área que presentará un espejo de agua independientemente de su profundidad y área lodosa aquella que no presentará grietas o salitre en su superficie. Cada porcentaje de las condiciones del hábitat fue agrupado por año y analizado con una prueba de Kruskal Wallis para encontrar diferencias.

Tabla 1. Periodicidad de las imágenes satelitales Landsat 5 y 7, obtenidas del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).

Landsat 5		Landsat 7
2007	2010	2015
14 de mayo	6 de mayo	4 mayo
30 de mayo	22 de mayo	20 mayo
15 de junio	23 de junio	5 junio
1 de julio		

-- Condición corporal de los pollos y condiciones del hábitat.

La condición corporal es una medida que nos permite estimar las reservas de energía (comprendidas como las reservas de grasa y proteína) en un individuo. La mayoría de los métodos no invasivos utilizan la masa corporal en relación a una medida lineal del cuerpo (tarso, longitud o amplitud del cráneo). Sin embargo, estos parámetros usualmente no reflejan la “verdadera condición” del individuo. Por ejemplo, la masa corporal no siempre controla (coincide) el tamaño corporal del individuo, individuos grandes podrían tener poco peso, y aun así tener buenas reservas de grasa o proteína (Peig y Green, 2009)

Sobre este supuesto y dado que no existe una relación lineal de la masa corporal con la edad del chorlo nevado (Küpper *et al.*, 2009), se usó el índice de masa estandarizado (Scaled Mass Index en inglés) el cual permitió estimar la condición corporal utilizando la masa corporal y la longitud del tarso, además de un exponente que describe la pendiente de crecimiento de los pollos. Este índice se calculó de la siguiente manera:

$$\text{índice de masa estandarizado (SMI)} = M_i \left[\frac{L_0}{L_i} \right]^{b_{SMA}}$$

Donde M_i representa la masa corporal y L_i la longitud del tarso de cada individuo, L_0 es el valor de la media aritmética del tarso, calculada para cada temporada de reproducción, y b_{SMA} es un exponente que representa la pendiente de una regresión lineal entre la masa corporal y la longitud del tarso. El valor del b_{SMA} se calculó de manera directa cargando los datos de masa corporal y longitud del tarso de las cinco temporadas en un software en línea (Bohonak y van der Linde, 2004).

Para las temporadas de 2016 y 2017, el SMI de cada pollo se asoció con la proporción de las condiciones del hábitat estimados de manera visual al momento de su captura. Para las temporadas anteriores, debido a que no se obtuvieron imágenes con una periodicidad menor a 15 días (en algunos casos 30 días) el valor del SMI se asoció a las condiciones del hábitat calculadas más cercanas al momento de su captura (Tabla 1). Por ejemplo, para los pollos nacidos entre el 5 al 14 de mayo de 2007, se usaron las condiciones del hábitat obtenidas de la imagen Landsat del 14 de mayo. El SMI se

modeló como una función de las condiciones del hábitat, de cada unidad de muestreo y del año de estudio. Debido a que la masa corporal de los pollos disminuye en los primeros días de edad, debido al gasto energético diario para desplazarse y a su termorregulación (Küpper *et al.* 2009), se usaron solo los datos de masa corporal y longitud del tarso de los pollos con más de cinco días de edad. Se construyeron diez modelos (glm) de relevancia biológica, dentro del ambiente de programación RStudio versión 4.2.1., usando el paquete “AICcmodavg” para la selección del mejor modelo (Burnham y Anderson, 2002). Se utilizó la diferencia del criterio de información Akaike, en particular el DeltaAIC (ΔAIC) con valor < 2 , para seleccionar el mejor modelo que explique el SMI. Se obtuvieron los coeficientes de cada parámetro con un intervalo de confianza del 95 %, para corroborar la elección del modelo (Mazerolle, 2020).

- Éxito de reproducción y Supervivencia

La información sobre la biología reproductiva de las temporadas de 2007 y 2010, fue obtenida de una base de datos proporcionada por el Dr. C. Küpper, líder del Grupo de Investigación de Genética Conductual y Ecología evolutiva del Instituto Max Planck. Durante las temporadas de reproducción de 2015, 2016 y 2017 se utilizó el mismo protocolo de monitoreo durante los años anteriores. Al inicio de cada temporada se realizaron visitas diarias en un horario variable entre las 06:00-12:00 h y las 16:00-00:00 h. Se utilizó un telescopio 20-45×60 para la búsqueda de adultos y nidos, usando un escondite móvil para mantener la perturbación al mínimo (Székely *et al.*, 2003). Los nidos también se buscaron a pie (Székely *et al.*, 2008). Una vez localizado, cada nido fue georreferenciado, se obtuvo el tamaño de la nidada y la morfometría de los huevos. Cuando no se encontró el nido desde la puesta del primer huevo, la edad del nido se estimó mediante la flotación de huevos. Lo cual consiste en sumergir cada huevo en un vaso con 200 ml. de agua y dependiendo de la altura de flotación e inclinación del huevo, son los días que tiene desde su puesta. Posteriormente se capturaron a los adultos en los nidos usando una trampa de túnel. A cada adulto capturado se le midió longitud de culmen y tarso utilizando un calibrador milimétrico (0.01 mm) y se estimó su peso con ayuda de un dinamómetro marca Ohaus (0.1 g). Cada adulto se marcó con una combinación única de cinco anillos de color y un anillo de acero inoxidable con un código alfa-numérico para su reconocimiento individual (Gratto-Trevor, 2004; Székely *et al.*, 2008). Los nidos se visitaron cada tercer día y diariamente a partir de los 20 días de edad, hasta el día de eclosión de los pollos. El destino de cada nido se estableció como: exitoso (si al menos eclosionó un pollo), fracaso (inundado, depredado, abandonado) o desconocido. Una vez eclosionados, cada pollo fue marcado con un anillo de acero inoxidable y un anillo de color. Cada tercer día se intentó al azar la recaptura de los pollos para obtener su morfometría como se describió anteriormente. Diariamente se llevó a cabo una búsqueda intensiva de los pollos hasta que alcanzaron la edad de 27 días (edad de volantón) y así determinar si fue exitoso o no.

La tasa de supervivencia diaria de nido (TSN) se calculó a partir de cinco datos básicos que están relacionados con las historias de encuentro: 1) el día en que se encontró el nido, 2) el último día en que el nido fue observado activo, 3) el último día en que fue revisado, 4) su destino (éxito=0 o fracaso=1), y 5) el número de nidos con

historias de encuentro iguales. Para poder ser comparables entre años todas las fechas fueron estandarizadas, desde el día 1, considerado como la fecha más temprana entre todos los años para el inicio de anidación, hasta el día 95, que corresponde a la última fecha en la que se observó puesta de huevos. Para modelar la TSN se incorporó al modelo general el año, la edad del nido y al momento de análisis se creó una variable que describiera la tendencia lineal de nidos activos a través del año (Tiempo). Se construyeron modelos reducidos, es decir con pocos parámetros, considerando aquellos que se conoce que influyen directamente en aves playeras (Johnson *et al.*, 2007). No se incluyó información del hábitat para estos modelos debido a que la capacidad de puesta de huevos podría estar influenciada por condiciones previas o ajenas al sitio de anidación. Por ejemplo, los adultos se alimentan en sitios más lejanos.

La tasa de supervivencia diaria de pollos (TSP) se obtuvo con una matriz de las historias de encuentro de cada pollo capturado a lo largo de 27 días. Esta matriz se vació en un archivo *.txt* colocando un 1, cuando en el evento de observación fue detectado el pollo y un 0 cuando en dicho evento no fue detectado dicho individuo. Cuando no se realizó esfuerzo de muestreo se colocó un punto (Dinsmore y Dinsmore, 2007). Para modelar la TSP se incluyó el año y día de la temporada (fecha estandarizada cuando eclosionó el pollo). Se incorporó al modelo general, la tendencia lineal a través de la temporada, la condición corporal del pollo (SMI), la proporción de superficie inundada, lodosa y seca al momento de la eclosión del pollo, así como la temperatura promedio como otro parámetro del hábitat.

Para obtener el mejor modelo que explicara la TSN y la TSP (Dinsmore *et al.*, 2002; Dinsmore y Dinsmore, 2007), se usaron los datos estandarizados para ambas etapas de reproducción (nido y volantón). Para ello se usó el código de programación descrito en Cruz-López *et al.* (2017) usando la aplicación RMark (Laake y Rexstad, 2008) dentro del ambiente de programación RStudio (R Development Core Team, 2010). La TSP se modeló en dos etapas: primero se calculó la probabilidad de encuentro (P), y posteriormente con el mejor modelo obtenido de P , se modeló la supervivencia de los pollos (Φ). Se utilizó el Criterio de Información de Akaike como una medida del modelo que menos información pierde durante el análisis de un conjunto de modelos. El ΔAIC es la diferencia de unidades del AIC entre uno y el mejor

modelo (el mejor modelo es igual a 0) y se seleccionó aquel modelo con un valor menor a 2. El peso de Akaike (w_i) nos indica el ajuste del modelo a los datos, el mejor ajuste es igual a 1 (White y Burnham, 1999). Al finalizar el modelaje de ambas fases se extrajeron los estimados de supervivencia diaria del mejor modelo, se elevaron al número de días del periodo de incubación (25 días) y de volantón (27 días), se agruparon por año y se calculó la supervivencia de nido y volantón anual.

La productividad del chorlo nevado (número de nidos, pollos y volantones producidos) durante cada temporada se modeló (lm) como una función de la temperatura en la salina. La temperatura es extrema en la salina (Jáuregui, 2003) y de manera indirecta puede explicar las condiciones desfavorables como la degradación del hábitat por falta de agua (Küpper et al., 2012, Cruz-López et al., 2017). Los datos de la temperatura fueron obtenidos de la estación meteorológica de La Cruz de Elota, ubicada a 8 km de la salina en Bahía Ceuta.

10.RESULTADOS.

-- *Variación de las condiciones del hábitat.*

De manera general, la variación de las condiciones del hábitat sigue el siguiente patrón: al inicio de la temporada reproductiva (abril) en la salina aún permanecen áreas inundadas (por ejemplo, estanques, canales con < 20 cm de profundidad) y zonas lodosas principalmente en la unidad D, C y E; conforme avanza la temporada, las altas temperaturas secan las áreas inundadas; y al final de la temporada reproductiva (finales de julio) inicia la temporada de lluvias, por lo que se vuelve a inundar y a generar zonas lodosas e inundadas en los estanques, canales y planicies.

En la temporada de 2007, la superficie inundada y lodosa persistió a lo largo de toda la temporada de reproducción (entre el 20-60 % de la superficie; Figura 2A) por lo que se trató de una temporada favorable. La relación entre ambas variables no fue directamente proporcional. Estas condiciones permanecieron principalmente en la unidad C, D y E, donde fueron detectados la mayor cantidad de pollos. El pico de eclosión se presentó en junio, cuando la proporción de superficie inundada y lodosa coincidió en un 30 %, ofreciendo en toda la salina acceso a fuentes de alimento (Figura 2C)

Durante la temporada de 2010, la temporada se inició con un 10 % de superficie cubierta de agua y un 40 % de lodo (Figura 3A). Un 40 % de lodo coincidió con el pico de eclosión de pollos a finales de mayo. Sin embargo, la superficie inundada y lodosa desapareció y una capa de salitre se formó principalmente en las unidades C y A. Estas variables fueron independientes. Esta temporada se consideró desfavorable por permanecer seca durante el periodo de crianza de los pollos.

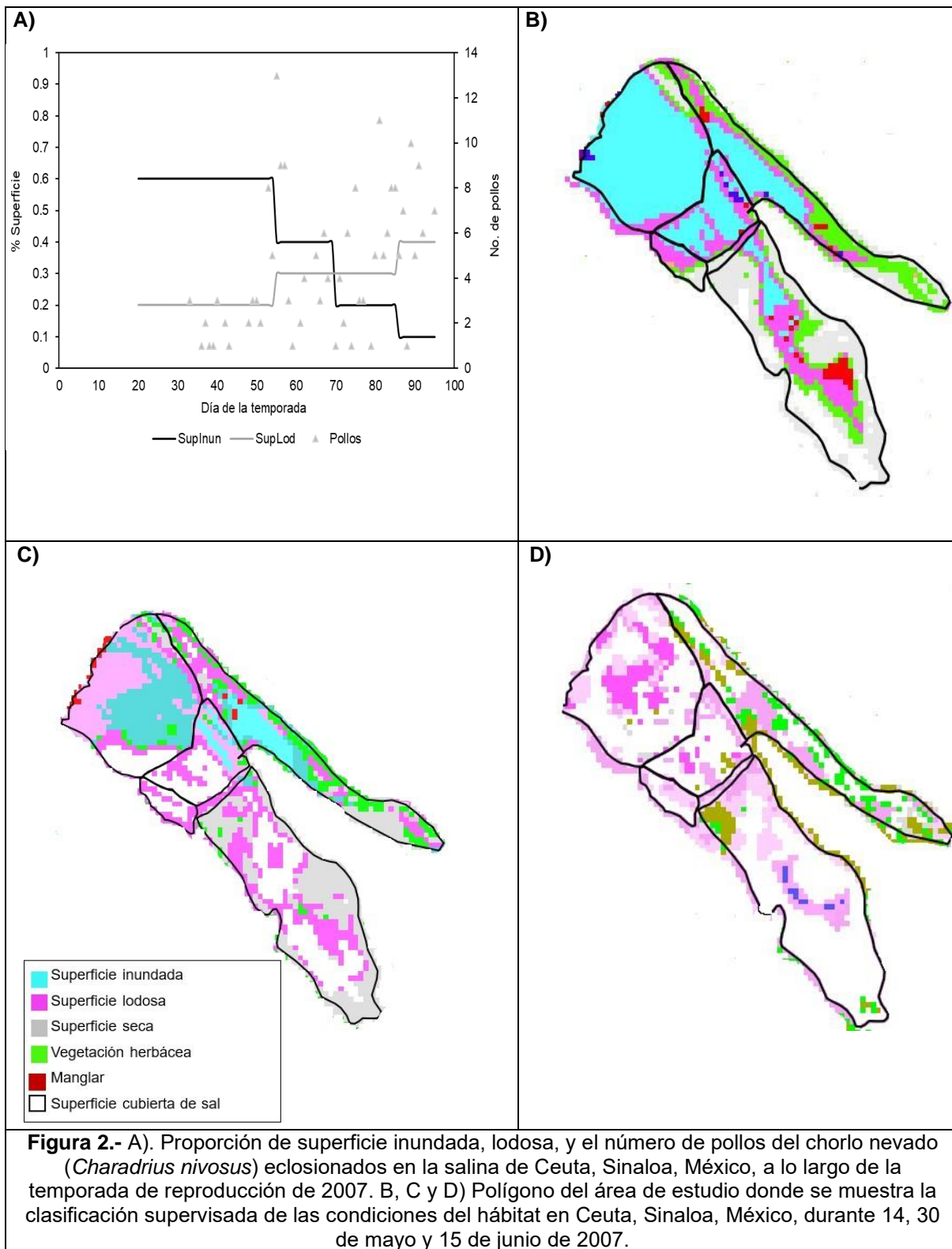
En la temporada de 2015, debido a fenómenos de marea de fondo que impulsaron agua de mar hacia las unidades D, E y C, estas áreas albergaron agua de manera impredecible (Figura 4B-D). La superficie inundada comenzó desde un 40 % y culminó con un 0 % de cobertura, mientras que la superficie lodosa varió entre un 10 % y un 40 %. Estas variables no fueron directamente proporcionales. El aporte de agua de marea se evaporó rápidamente por las altas temperaturas (31.4 °C en promedio entre mayo y junio) al igual que el área lodosa. A inicios de junio se presentó un ligero pico de eclosión y se presentaron algunas lluvias ligeras que solo humedeció la unidad A. La unidad D a pesar de estar inundada no presentó acceso a fuentes de alimento al ser de

una profundidad > 5 cm, la mayoría del lodo se centró en la unidad A donde ese año anidó el charrán mínimo (*Sternula antillarum*) y en la unidad E, donde normalmente no se ven individuos. Esta temporada se consideró desfavorable. La periodicidad de las imágenes (Tabla1) no permite visualizar la rápida inundación y desecación del suelo.

En la temporada de 2016, aunque la temporada se inició con buena proporción de agua y lodo en la salina (40 % y 30 % respectivamente; Figura 5), la humedad en el suelo se evaporó rápidamente, dejando una capa considerable de salitre en las unidades D y C. Una superficie lodosa variable pero constante (entre un 5 y 40 %) permaneció en la unidad A, debido a que, durante la construcción de un pozo, se estuvo bombeando el agua de prueba del subsuelo hacía esta unidad. Un ligero pico de eclosión ocurrió a inicios de junio, justo cuando no hubo agua o lodo en la salina. Por la irregularidad de las condiciones del hábitat esta temporada fue poco óptima.

Finalmente, en la temporada de 2017, se presentaron las condiciones del hábitat menos favorables, similares a la temporada de 2010. La mayor parte de la temporada las unidades permanecieron secas (mayo-junio; Figura 6), en particular durante el pico de eclosión y el periodo de crianza de los pollos del chorlo nevado. Una capa de salitre cubrió la unidad C y breves eventos de afluencia de agua de mareas inundaban la unidad D, pero en pocas horas quedaba seca nuevamente.

Las condiciones del hábitat entre estas cinco temporadas fueron significativamente diferentes entre sí ($X^2 = 61.31$, $P = 0.00$). Incluso la cobertura de la vegetación cambió, aunque fue variable a lo largo de un ciclo anual, aumentó en un 11 % entre las temporadas de 2007 y 2017. La temporada de 2007 fue óptima, el resto se consideraron desfavorables al no ofrecer un acceso a fuentes de alimento (áreas expuestas secas, cuerpos de agua profundos) para el chorlo nevado. La variación impredecible en la cantidad de agua y lodo, atrajo a los adultos y pollos a zonas de alta competencia por el alimento.



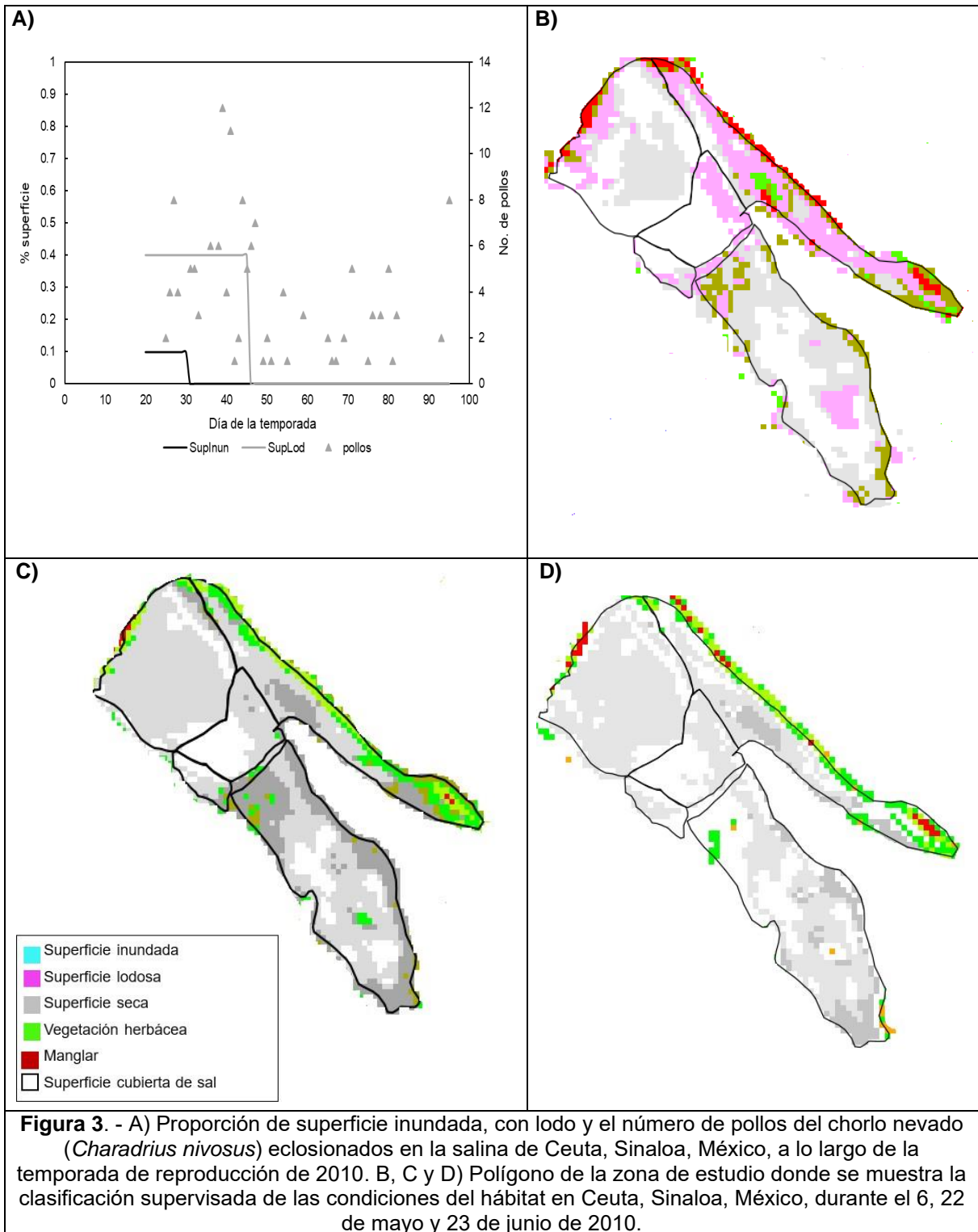
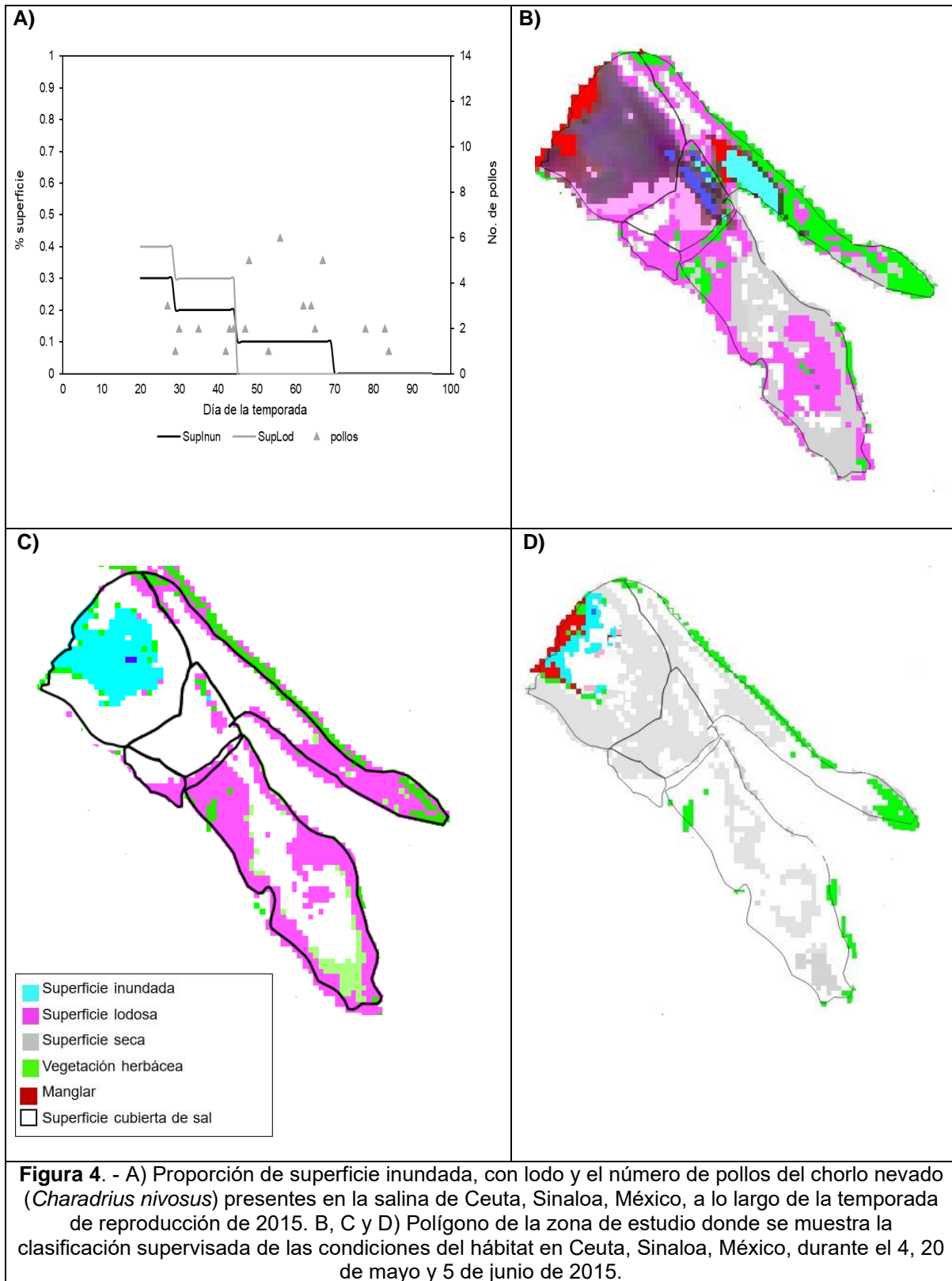
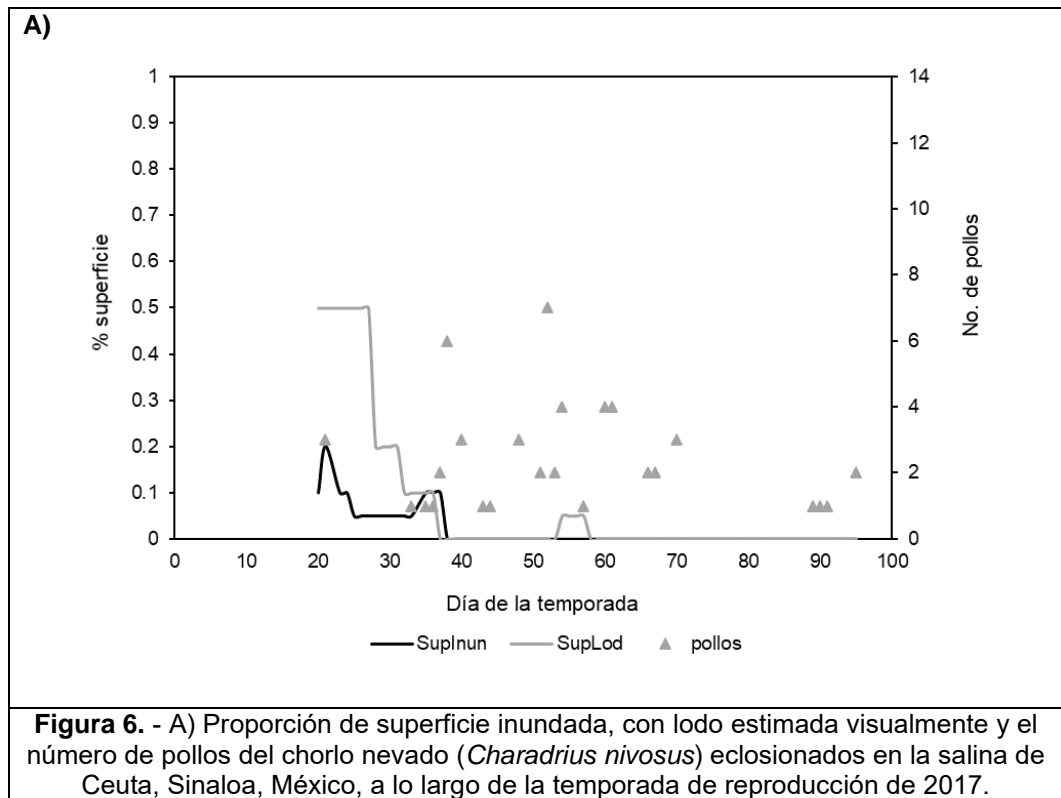
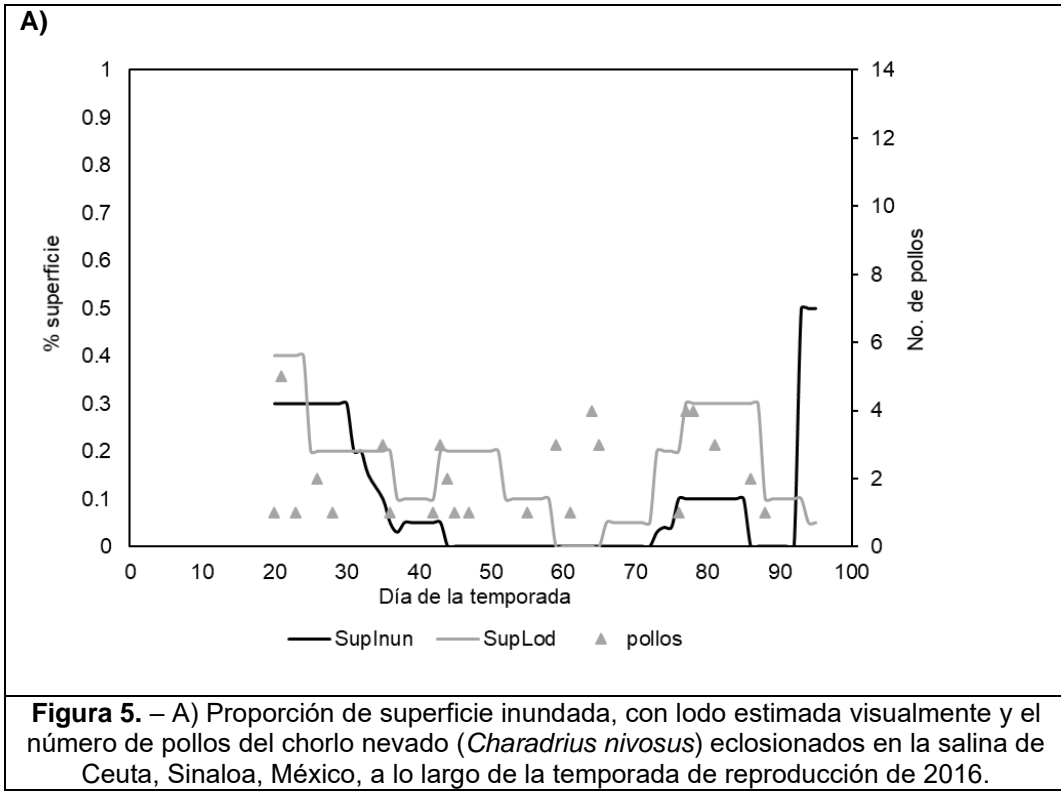


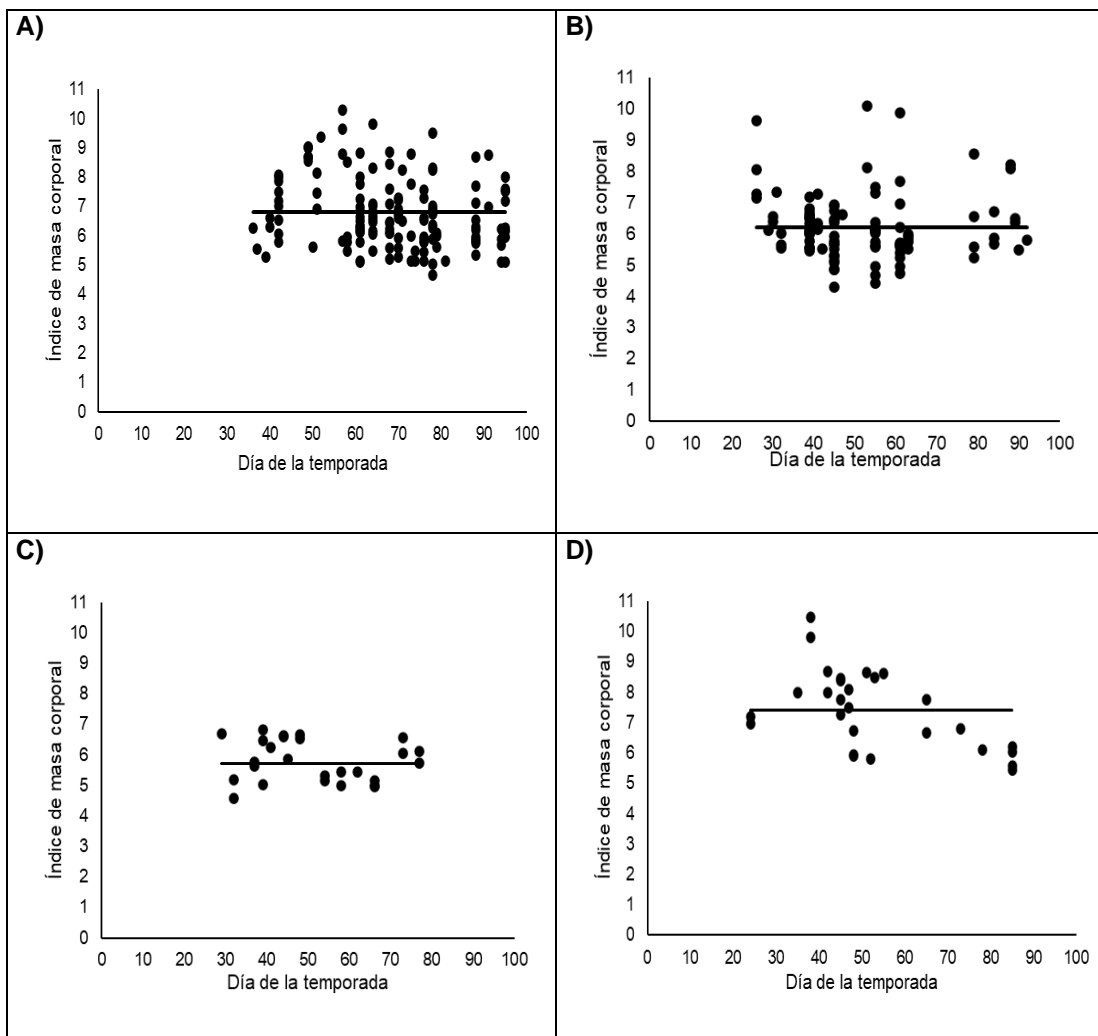
Figura 3. - A) Proporción de superficie inundada, con lodo y el número de pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) eclosionados en la salina de Ceuta, Sinaloa, México, a lo largo de la temporada de reproducción de 2010. B, C y D) Polígono de la zona de estudio donde se muestra la clasificación supervisada de las condiciones del hábitat en Ceuta, Sinaloa, México, durante el 6, 22 de mayo y 23 de junio de 2010.





-- Condición corporal (SMI) de los pollos.

El SMI fue significativamente diferente entre años ($F = 21.45$, $P = 0.00$). Durante la temporada de 2007 fue más estable, mientras que en el resto de las temporadas fue más variable (Figura 7). El promedio del SMI al momento de la eclosión de los pollos fue más alto durante la temporada de 2007 y 2016, y fue más bajo para la temporada de 2010. El SMI disminuyó después de la eclosión de los pollos, siendo más bajo para las temporadas de 2015 y 2017 (Tabla 2). Durante las temporadas de 2016 y 2017, se observó una tendencia a disminuir el índice corporal de los pollos hacia el final de la temporada (Figura 7 D y E). En los primeros días de edad de los pollos, no existe una relación lineal entre el tarso y la masa corporal de los pollos (Figura 8).



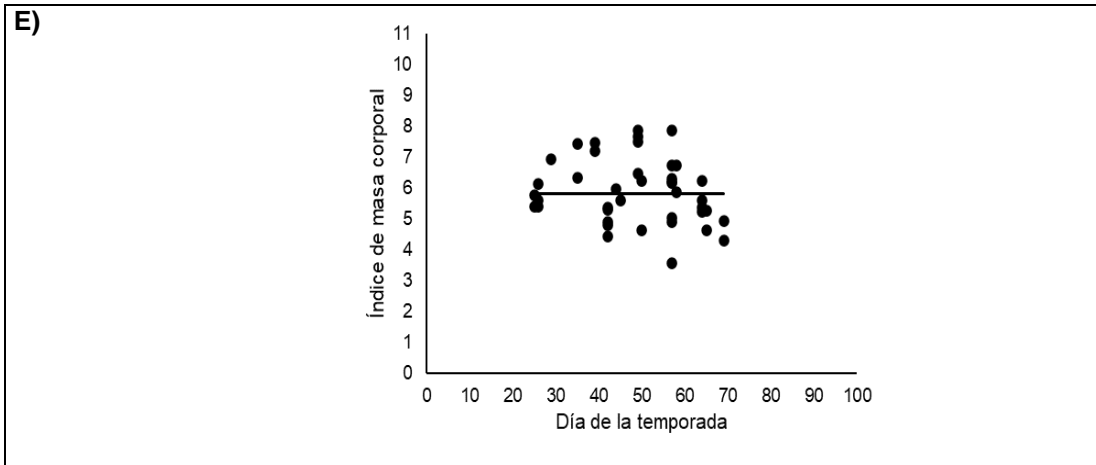


Figura 7.- Valores del SMI de los pollos con más de 5 días de edad del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*), para las temporadas de reproducción de 2007 (A), 2010 (B), 2015 (C), 2016 (D), y 2017 (E) en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México. (La línea recta muestra el valor promedio del SMI de cada temporada de reproducción).

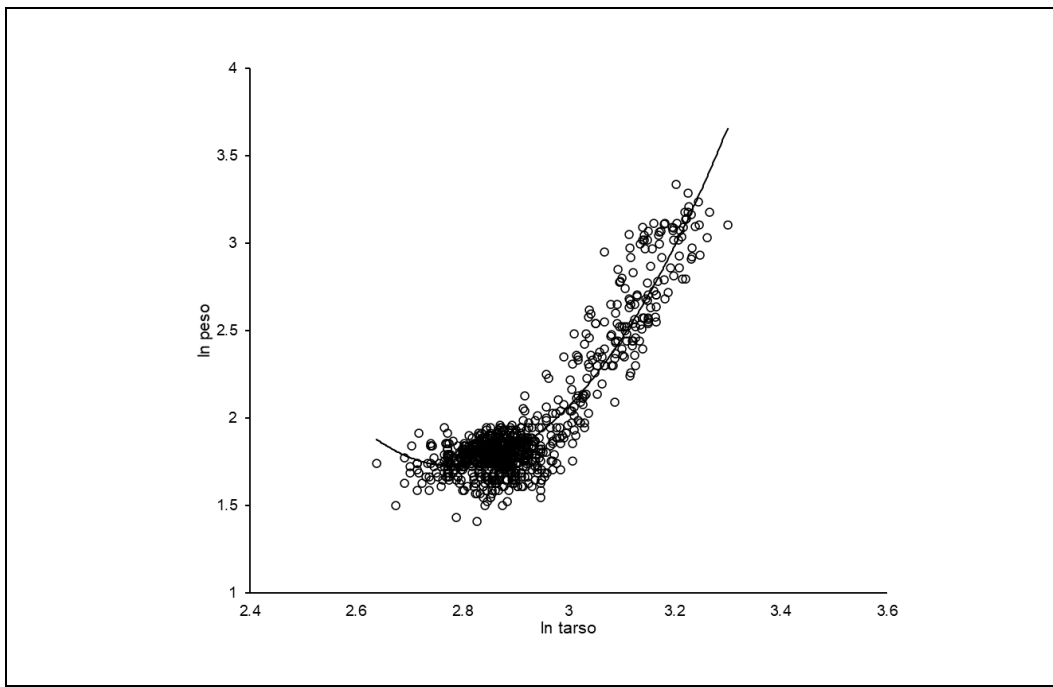


Figura 8. Relación no lineal entre la longitud del tarso y la masa corporal de los pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) en la salina abandonada de Bahía Ceuta, Sinaloa, México, en las temporadas de 2007, 2010, 2015, 2016 y 2017 (datos transformados a logaritmo natural).

Tabla 2. Valores promedio del índice de masa estandarizado (SMI) de los pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) al momento de su eclosión y después de > 5 días de edad, durante las temporadas de reproducción de 2007, 2010, 2015, 2016 y 2017 en la salina de Bahía de Ceuta, Sinaloa, México.

Temporada	SMI Eclosión	SMI Post-eclosión
2007	8.03 ± 1.21	6.80 ± 1.21
2010	6.94 ± 0.94	6.23 ± 1.16
2015	7.61 ± 1.34	5.78 ± 0.78
2016	8.31 ± 1.36	7.40 ± 1.97
2017	7.62 ± 0.99	5.80 ± 1.63

La Tabla 3, muestra que el efecto aditivo de la superficie inundada, lodosa, seca, el sitio, la temperatura, y la temporada de reproducción, explican la variación del SMI con un soporte del modelo de un 0.92. De acuerdo a los coeficientes obtenidos del modelo global (Tabla 4). Con un nivel de confianza del 95 %, se concluye que la combinación de las condiciones del hábitat y el año explican la variabilidad del SMI durante el periodo de estudio. Por ejemplo, la superficie inundada y lodosa incrementan el SMI, y es menor cuando los pollos se encuentran en las unidades A y B.

Tabla 3.- Selección del modelo del índice de masa estandarizada (SMI) en los pollos de chorlo nevado (*Charadrius nivosus*), como una función de: las condiciones del hábitat (SupInun = Superficie inundada, SupLod = superficie lodosa, SupSec = superficie seca), las temporadas de reproducción (Año), temperatura promedio (Temp), y cada una de las unidades de muestreo (Sitio). K = número de parámetros, AIC = Criterio de información de Akaike, ΔAIC = diferencia del criterio de información Akaike, entre un modelo y el mejor modelo, AIC_w = peso de criterio de información de Akaike, A_w = peso acumulado del AIC_w)

Modelo	K	AIC	ΔAIC	AIC_w	A_w
~ SupInun + SupLod + SupSec + Año + Sitio + Temp	15	1153.16	0.00	0.92	0.92
~ SupInun + SupLod + SupSec + Año	8	1159.41	6.25	0.08	1.00
~ Año + Sitio	12	1583.67	30.51	0.00	1.00
~ Año	6	1587.77	34.61	0.00	1.00
~ SupLod	3	1635.58	82.41	0.00	1.00
~ SupInun + SupLod	4	1636.08	82.92	0.00	1.00
~ SupInun + SupLod + SupSec	5	1636.20	83.04	0.00	1.00
~ SupInun	3	1672.87	119.70	0.00	1.00
~ Sitio	8	1688.55	135.39	0.00	1.00
~ 1	2	1706.25	153.09	0.00	1.00
~ Temp	3	1706.27	153.11	0.00	1.00

Tabla 4. Coeficientes estimados de cada parámetro del modelo del SMI en función de las condiciones del hábitat y de las temporadas de reproducción de los pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México, durante las temporadas de reproducción de 2007, 2010, 2015, 2016 y 2017. (SupInun = superficie inundada, SupLod = superficie lodosa, SupSec = superficie seca).

Parámetro	Coficiente estimado	2.5 %	97.5 %
Ordenada al origen	1.84	1.40	2.30
SupInun	0.16	-0.35	0.63
SupLod	0.38	-0.11	0.87
SupSec	0.09	-0.19	0.79
2010	-0.16	-0.19	-0.11
2015	0.00	-0.11	0.03
2016	0.05	-0.01	0.12
2017	-0.07	-0.12	0.00
Sitio A	-0.03	0.10	0.03
Sitio B	-0.07	-0.14	0.01
Sitio C	0.03	0.04	0.10
Sitio D	0.01	-0.05	0.08
Sitio E	0.04	0.04	0.12

- Éxito de reproducción y supervivencia

Durante las cinco temporadas de reproducción fueron capturados un total de 248 hembras, 273 machos y 563 polluelos. En total se encontraron 383 nidos con un promedio de nidada de 2.8 huevos por nido y 1.5 pollos producidos por nidada. La temporada de 2007 (óptima) fue la que presentó mayor número de hembras ($n = 90$, 36.3 %) y machos ($n = 102$, 37.4 %) en reproducción, así como el mayor número de pollos eclosionados ($n = 218$, 42.1 %). A su vez la temporada de 2015, una de las temporadas desfavorables, fue la de menor abundancia, con solo el 12.5 % de hembras ($n = 31$), 11.7 % de machos ($n = 32$) y solo el 8.2 % de pollos eclosionados ($n = 45$; Figura 9). El esfuerzo de recaptura resultó en 65 recapturas de hembras, 40 de machos y 251 recapturas de pollos a lo largo del período de estudio.

Tabla 5. Número de adultos y pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) capturados en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México, por unidad de muestreo durante las temporadas de reproducción de 2007, 2010, 2015, 2016 y 2017.

Unidad	No. de adultos	No. de pollos
A	559	383
B	138	79
C	323	175
D	252	122
E	109	68

La mayoría de las capturas de adultos del chorlo nevado se centraron en la unidad A con el 40.5 %, en segundo término, la unidad C con el 23.3 %, y la unidad B con el 9.9% fue donde se realizaron la menor cantidad de capturas. Del mismo modo el mayor porcentaje de pollos fue capturados en A (46.3 %) y C (21.16%; Tabla 5).

Durante la temporada de 2007 se establecieron el 35.3 % ($n = 138$) de los nidos, en 2010 el 23.9 % ($n = 95$), en 2015 el 13.1 % ($n = 50$), en 2016 el 15% ($n = 57$) y en 2017 solo 11.3% del total de nidos ($n = 43$). A lo largo de todo el período de estudio cerca de la mitad de los nidos (42.4 %; $n = 161$) fueron localizados en la unidad A, el 23.7 % ($n = 90$) en la unidad C, el 14.7 % ($n = 56$) en D, un 9.7 % ($n = 37$) en B y 9.5 % ($n = 36$) en la unidad E.

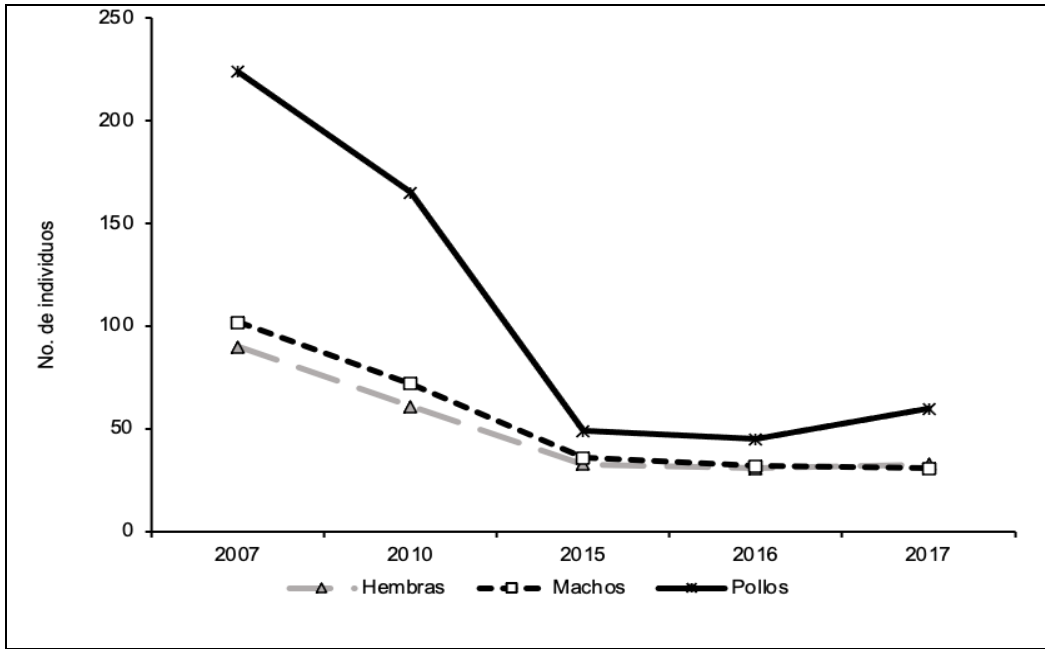


Figura 9.- Número de hembras, machos y pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) capturados durante las temporadas de reproducción de 2007, 2010, 2015, 2016 y 2017 en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México.

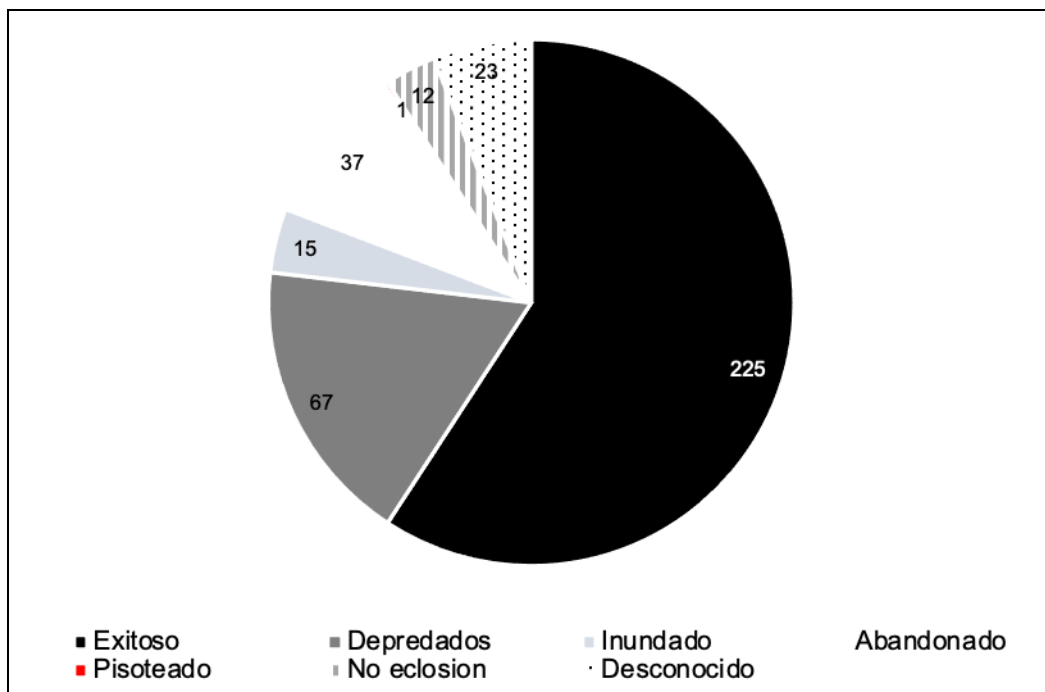


Figura 10. Destino de los nidos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*), durante las temporadas reproductivas de 2007, 2010, 2015, 2016 y 2017 en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México.

Los padres mueven a sus pollos hacia otras áreas después de su eclosión para su alimentación y refugio. De tal forma que, aunque la mayoría de pollos eclosionaron en la unidad A, las recapturas de pollos se centraron en la unidad D con el 45.0 % ($n = 113$) seguida de la unidad C con el 23.9 % ($n = 60$), la unidad A con el 15.1 % ($n = 38$), en la unidad E con el 11.1 % ($n = 28$) y la unidad B con el 4.8 % ($n = 12$).

De los 380 nidos localizados durante estas cinco temporadas de reproducción, el 59 % fue exitoso, es decir al menos un pollo eclosionó (Figura 10).

Las causas de pérdida de nidos fueron diferentes entre años ($X^2 = 231$, $P = 0.00$). Durante las primeras temporadas la principal causa fue la depredación, durante 2015 fue la inundación y en 2017 fue el abandono. La tasa de supervivencia anual de nidos fue diferente entre años, siendo más bajo durante la temporada de 2015 y mayor durante la temporada de 2007 (Tabla 6).

Tabla 6. Tasa de supervivencia anual de nidos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México, durante cinco temporadas de reproducción.

Temporada	Tasa de supervivencia anual de nido	Límites de confianza	
2007	0.66	0.47	0.79
2010	0.60	0.38	0.75
2015	0.16	0.04	0.37
2016	0.32	0.11	0.55
2017	0.58	0.23	0.81

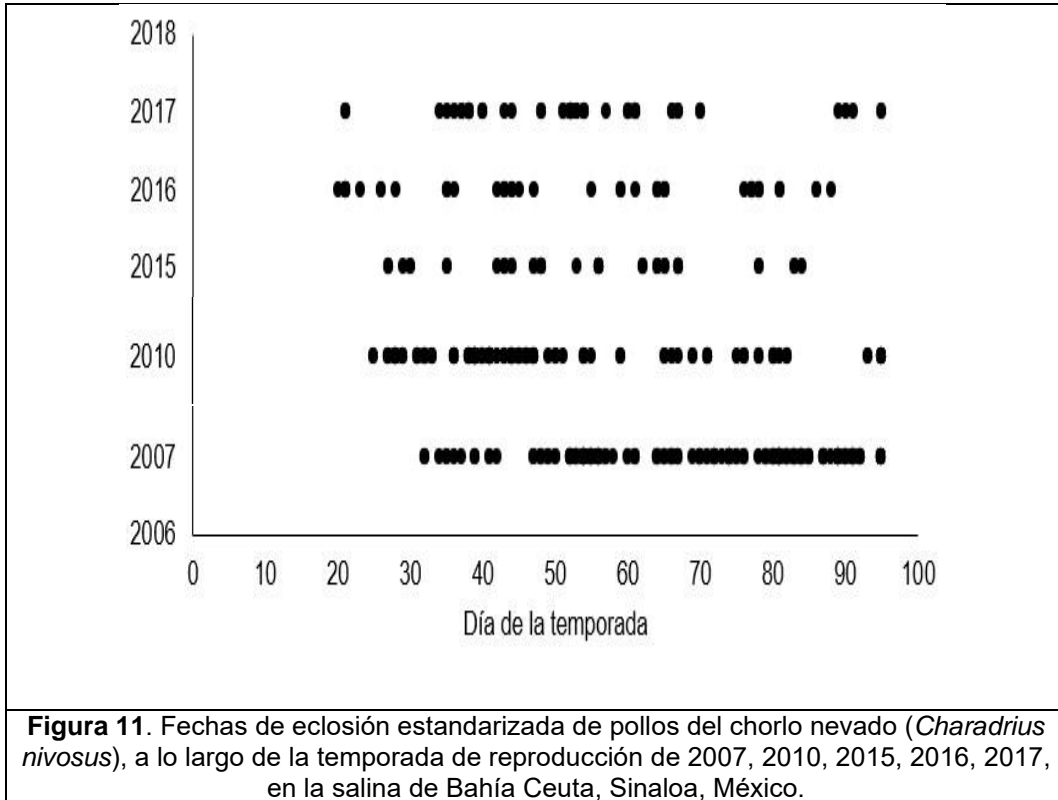
Como se observa en la Tabla 7, la TSN, es explicada por dos modelos ($\Delta AIC < 2$). Es decir, la TSN varía entre y dentro de la temporada, aquellos nidos tempranos son más exitosos en comparación de nidos tardíos, y nidos con un periodo de incubación avanzado tienen mayor probabilidad de ser exitosos. Al calcular los coeficientes de los modelos, observamos que el tiempo, tiene un mayor peso para explicar la TSN.

Tabla 7. Selección de modelos para la tasa de supervivencia diaria de nidos (TSN) del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México, como una función de la variación anual (Año), una tendencia lineal de establecimiento de cada nido en la temporada (Tiempo), y edad del nido (EdadNido). (K = número de parámetros modelados, ΔAIC_c = diferencia del criterio de información Akaike corregido, entre un modelo y el mejor modelo, y w_i = peso relativo de Akaike).

Modelo	K	ΔAIC_c	w_i
~ Año * Tiempo	10	0.000	0.612
~ Año * Tiempo * Edad Nido	20	0.930	0.384
~ Año + Tiempo	6	11.794	0.001
~ Año + Tiempo + Edad Nido	7	13.364	0.000
~ Tiempo	2	25.872	0.000
~ Tiempo + Edad Nido	3	26.967	0.000
~ Quadratic	2	27.608	0.000
~ Tiempo * Edad Nido	4	28.832	0.000
~ Año	5	29.814	0.000
~ Año + Edad Nido	6	31.649	0.000
~ Año * Edad Nido	10	32.255	0.000
~ 1	1	37.115	0.000
~ Edad Nido	2	38.741	0.000

Tabla 8. Coeficientes estimados de cada parámetro para el modelo de la TSN del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México, como una función de la variación anual (Año), una tendencia lineal en la temporada (Tiempo) y la edad del nido (EdadNido). (SE = error estándar; se anotan los límites de confianza a un 95 %).

Parametro	Coeficiente estimado	SE	2.5 %	97.5 %
Año	4.071	0.17	3.732	4.410
Tiempo	4.672	0.26	4.146	5.198
Edad Nido	3.882	0.14	3.596	4.167
Quadratic	3.440	0.36	3.119	4.162



La eclosión de pollos inició primero en las temporadas desfavorables y con una diferencia > 10 días en la temporada óptima de 2007 (Figura 11). Durante la temporada de 2007, 110 pollos llegaron a la edad de volantón, 91 en 2010, 24 durante 2015, 32 pollos en 2016, y solamente nueve pollos llegaron a volantón en la temporada de 2017 (Figura 12). La tasa de supervivencia anual de pollos fue diferente entre las cinco temporadas. La temporada de 2017, la cual tuvo las condiciones más desfavorables presentó la tasa más baja, mientras que en 2007 se cuantificó la tasa más alta (Tabla 9).

Tabla 9.- Tasa de supervivencia anual de pollos del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México, durante las temporadas de reproducción de 2007, 2010, 2015, 2016 y 2017.

Temporada	Tasa de supervivencia anual	Límites de Confianza	
2007	0.53	0.44	0.62
2010	0.19	0.12	0.28
2015	0.24	0.12	0.38
2016	0.34	0.19	0.50
2017	0.02	0.00	0.07

La probabilidad de encuentro de los pollos (P), fue explicada por una combinación del año y una tendencia lineal a través de la temporada (Tabla 10). Con este modelo se calculó la tasa de supervivencia Φ (TSP) la cual esta explicada por la interacción entre y dentro de los años, así como el día de la temporada (Tabla 11). Aunque el índice de masa corporal, así como las condiciones del hábitat, fueron incluidos en los modelos, ninguna de estas variables tuvo influencia en la tasa de supervivencia de los pollos.

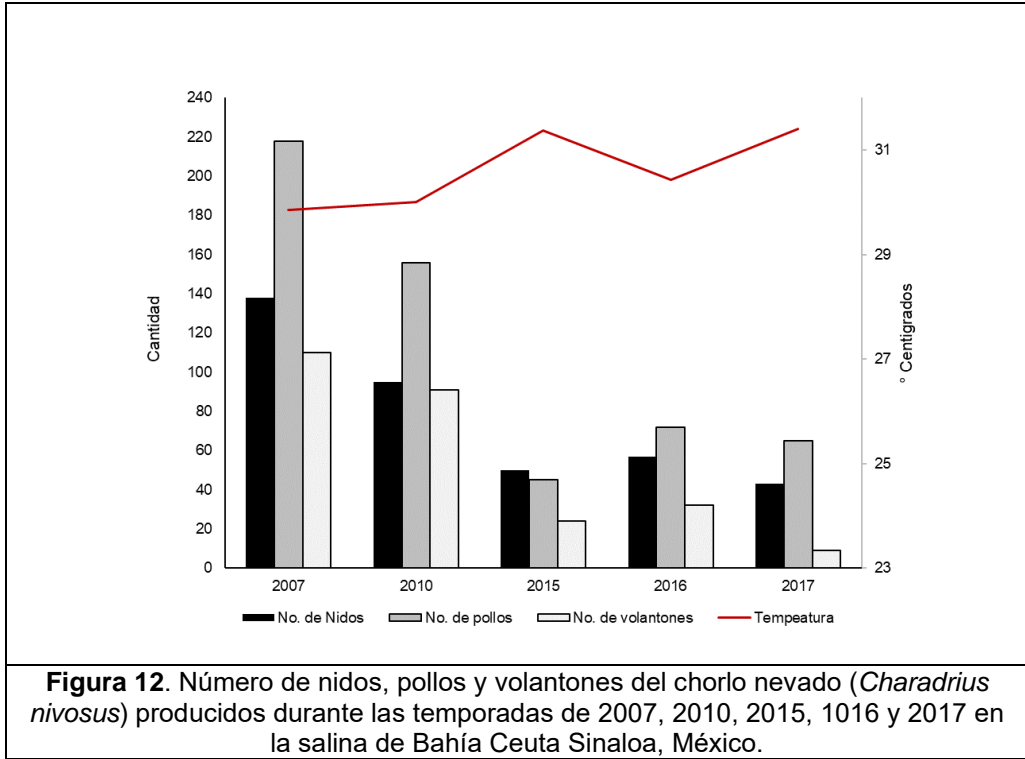
De acuerdo a los resultados obtenidos se encontró una disminución del 70 % de nidos puestos y de un 91 % en el número de volantones producidos, entre el periodo de estudio. La temperatura que fue asociada a la productividad del chorlo nevado fue significativamente diferente entre años ($F = 10.71$, $P = 0.00$), y estuvo asociada de manera negativa con el número de volantones producidos por año ($F = -3.73$, $P = 0.03$). No hubo relación con el número de nidos ($F = -2.89$, $P = 0.06$) ni con el de pollos producidos ($F = -3.02$, $P = 0.05$; Figura 12).

Tabla 10.- Selección de modelos para la probabilidad de encuentro (P) del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) durante cinco temporadas de reproducción en la salina de Bahía Ceuta, Sinaloa, México, como una función de la variación anual (Año), una tendencia lineal a través del año (Tiempo), el día de la temporada (Día), temperatura (Temp), características del hábitat (Suplnun = superficie inundada, SupLod = superficie lodosa, y de la condición corporal de los pollos (SMI). (K = número de parámetros modelados, ΔAIC_c = diferencia del criterio de información Akaike corregido, entre un modelo y el mejor modelo, y w_i = peso relativo de Akaike).

Modelo	K	AIC _c	ΔAIC_c	w_i
~ Año * Tiempo	11	8865.62	0.000	0.71
~ Año + Día	7	8869.20	3.581	0.12
~ Año * Día	11	8869.24	3.623	0.12
~ Año * Quadratic	11	8870.65	5.039	0.06
~ Año + Quadratic	7	8895.38	29.765	0.00
~ Año	6	8896.02	30.401	0.00
~ SMI + Año	7	8897.73	32.116	0.00
~ Año + Tiempo	7	8897.99	32.379	0.00
~Suplnun + SupLod + SupSec)	5	8912.16	46.549	0.00
~Temp	3	8922.32	56.702	0.00
~Suplnun)	3	8938.93	73.316	0.00
~Suplnun + SupSec)	4	8940.92	75.309	0.00
~Día	3	8947.51	81.891	0.00
~1	2	8947.52	81.901	0.00
~Quadratic	3	8947.70	82.140	0.00
~SMI	3	8949.43	83.816	0.00
~Tiempo	3	8949.43	83.818	0.00

Tabla 11.- Selección de modelos de la supervivencia de pollos (Φ) del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) a partir del mejor modelo de probabilidad de encuentro (P). (variación anual (Año), una tendencia lineal y cuadrática a través del año (Tiempo, Quadratic), el día de la temporada (Día), K = número de parámetros modelados, ΔAIC_c = diferencia del criterio de información Akaike corregido, entre un modelo y el mejor modelo, y w_i = peso relativo de Akaike).

Modelo	K	AIC _c	ΔAIC_c	w_i
~ Año * Tiempo * Día	20	8777.65	0.000	1.00
~ Año * Tiempo + Quadratic	12	8804.28	26.630	0.00
~ Año * Tiempo * Quadratic	14	8806.89	29.232	0.00
~ Año * Tiempo + Tiempo	12	8813.06	35.401	0.00
~ Año * Tiempo + Día	13	8814.79	37.131	0.00
~ Año * Tiempo + Día * Tiempo	14	8815.35	37.692	0.00
~ Año * Tiempo + Año	15	8816.09	38.437	0.00
~ Año * Tiempo + 1	11	8865.6	87.960	0.00



11. DISCUSIÓN.

Los resultados muestran que las condiciones del hábitat fueron impredecibles a lo largo del período de estudio. Solo durante la temporada de 2007 se observó el patrón de humectación esperado. La superficie inundada y lodosa variaron de manera independiente, su proporción se debió a condiciones naturales (temperatura ambiental, flujo de agua de mareas, lluvias, marea de fondo) y a fenómenos de origen antrópico (bombeo de agua de pozo de una granja acuícola). Además, los canales que conducen hacia la unidad D, que normalmente llevan agua hacia la salina, se azolvieron con el paso del tiempo. El crecimiento del mangle botoncillo en esta unidad crea una barrera al flujo del agua que también pudo favorecer el azolve e interferir en la cantidad de agua que llega a la salina. Como fue propuesto en la hipótesis, temporadas con sequía prolongada (temporadas 2010 y 2017) o eventos de inundación repentinos (temporadas 2015 y 2016) resultaron en un bajo éxito reproductivo del chorlo nevado. Estos resultados tienen implicaciones a considerar. Por ejemplo, la permanencia de superficies inundadas requiere de un manejo que evite por un lado la inundación de nidos y por el otro que permita un acceso constante a fuentes de alimento para pollos y adultos.

Aparentemente la cantidad de agua en la salina durante la primavera, es un factor importante para el inicio de la puesta de huevos. En la temporada de 2007 el inicio fue más tardío en comparación a la temporada de 2017, probablemente debido a la poca disponibilidad de sitios para la construcción de nidos. El chorlo nevado requiere que existan “escombros” en el terreno para la elaboración de sus nidos y acceso a áreas inundadas (< 5 cm de profundidad) para el forrajeo (Webber *et al.*, 2013). Por otro lado, el chorlo nevado parece estar adaptado para iniciar la anidación considerando el riesgo de inundación debido a los ritmos cíclicos de las mareas (Plaschke *et al.*, 2019), pero no puede predecir eventos no cíclicos como la marea de fondo o afluencia de agua de origen antrópico que ocasionó la inundación de nidos en 2015 y 2016, la principal causa de pérdida de nidos en estas temporadas. Por el contrario, en la temporada de 2017, la causa de pérdida de nidos fue la deserción, ocasionada probablemente por las altas temperaturas o ausencia de cuerpos de agua, condiciones que aumentan la probabilidad de deserción de los nidos (Amat y Masero, 2004).

El éxito de nido del chorlo nevado en general es bajo (Colwell *et al.*, 2005). En otros sitios de reproducción en México, las causas que lo afectan son depredadores y disturbio humano principalmente (Galindo-Espinosa y Palacios, 2015). El disturbio ocasionado por camionetas y cuatrimotos en las unidades A, B y C fueron evidentes. Sin embargo, este disturbio no fue evaluado. La tasa de supervivencia de nido para las temporadas de 2015-2017 (intervalo: 0.16-0.58) no coincide con la tendencia a la baja, reportada por Cruz-López *et al.*, 2017 en los años de 2006 a 2012 (intervalo 0.71-0.00) en la misma zona de estudio, pero sí es similar en comparación con otras poblaciones de Norte América, por ejemplo, en Salt Lake, Utah (intervalo 0.05-0.46; Ellis *et al.*, 2015). Sin embargo, una reducción considerable en el número de nidos puestos a lo largo del periodo de estudio sí coincidió con lo esperado para esta población reproductiva del chorlo nevado en México (Cruz-López *et al.*, 2017). La depredación de nidos suele ser un factor limitante para las poblaciones de chorlos (Johnson y Oring, 2002). Sin embargo, fueron las condiciones ambientales la principal causa de pérdida de nidos en estas temporadas.

La eclosión de los pollos en varias aves playeras suele coincidir con condiciones óptimas para el forrajeo de las crías (De Marchi *et al.*, 2015). Estas condiciones favorecen que las crías puedan alimentarse, crecer y ser independientes rápidamente (Kosztolányi *et al.*, 2007). En la salina de Bahía Ceuta, las condiciones en 2015 y 2016 parecieron una trampa ecológica al proveer un hábitat húmedo efímero o inaccesible para la alimentación de las crías. Aunque no en todas las temporadas la humectación del suelo coincidió con la eclosión, los padres llevaron a su progenie hacia áreas húmedas y en zonas con vegetación donde los pollos encuentran refugio (Noszály *et al.*, 1995). La unidad D es hacia donde se movieron la mayoría de los pollos después de su eclosión. Sin embargo, durante las temporadas con las condiciones menos favorables (2015 y 2017) se registraron eventos de infanticidio por parte de adultos del chorlo de Wilson (*Charadrius wilsonia*), otra ave playera de mayor tamaño que también anida en la zona. Del mismo modo adultos del charran mínimo (*Sternula antillarum*) agredían a adultos y crías del chorlo, cuando se movían hacia zonas húmedas, las áreas preferidas para la anidación de este charrán.

Los primeros días después de la eclosión son los de mayor riesgo para la supervivencia de las crías ya que pierden peso rápidamente (Küpper *et al.*, 2009). De no encontrar fuentes de alimento en esta etapa crítica sus probabilidades de morir por inanición aumentan (Colwell *et al.*, 2007). La supervivencia de los pollos está asociada a la edad, la cual también influye la independencia térmica y a la ganancia rápida de talla (Colwell *et al.* 2007). Aunque el cambio de hábitat para alimentar a los pollos ha sido reportado en otros chorlos, estos desplazamientos aumentan el gasto energético de las crías (Kosztolányi *et al.*, 2007). Al considerar la posible competencia por el alimento, la probabilidad de supervivencia de los pollos disminuye (Beintema y Visser, 1989; Colwell *et al.*, 2007; Dreitz, 2009). Esto pudo ocurrir en las temporadas de 2015 y 2017, ya que se observó que las familias se movían con mayor frecuencia en la salina. Por ejemplo, en ocasiones se veían familias en la unidad A, pero al secarse rápidamente se movían a la unidad D y luego hacia E, movimientos de >500 m. que pudieron aumentar el riesgo de depredación y gasto energético. Además, aunque no fue evaluado formalmente, cadáveres de pollos fueron encontrados en 2017 ($n = 7$) y la temperatura promedio de ese año estuvo asociada negativamente al número de volantones producidos.

Por otro lado, a pesar de que en la temporada de 2015 la unidad D y C albergaron agua, no permitieron el forrajeo de los pollos al tener profundidades > 10 cm. La composición y distribución de las presas cambia de acuerdo a la salinidad y profundidad del agua (Velasquez, 1992; Rosa *et al.*, 2007). Además, al considerar el tamaño de los pollos y adultos y su estrategia de forrajeo, estas condiciones no permiten que los individuos capturen a sus presas (Isola *et al.*, 2000). Algo similar pudo ocurrir cuando se formó una capa de salitre en las unidades C y D durante las temporadas de 2010, 2016 y 2017. En algunas ocasiones se levantó esta capa de salitre y se encontraron insectos y suelo húmedo.

En la temporada de 2015, hembras y machos de temporadas anteriores anidaron nuevamente ($n = 12$), pero en 2017 fueron menos los adultos anillados que intentaron reproducirse ($n = 7$). Lo mismo ocurrió con la incidencia de poliandría, la cual fue más frecuente en la temporada de 2007 que en la de 2017. Aunque la hembra puede ajustar su peso rápidamente después de un intento de anidación, incluso pierde peso

normalmente a lo largo del día (Szentirmai *et al.*, 2001), la ausencia de áreas donde encontrar alimento (inundadas o lodosas), así como el disturbio humano ejercen presión sobre la decisión de reproducirse nuevamente (Drent y Daan, 1980; Webber *et al.*, 2013). Se ha reportado que la experiencia reproductiva acumulada (número de años reproduciéndose localmente) no influye en el éxito reproductivo (Colwell *et al.*, 2005) aunque machos y hembras que se reproducen más temprano en la temporada tienden a producir significativamente más volantones, que los adultos tardíos (Cruz-López *et al.*, 2017). Por otro lado, es habitual que las aves se dispersen más allá de sus zonas típicas de anidación buscando sitios más adecuados (Smith, 1970; Colwell *et al.*, 2005). En la temporada de 2017, durante una prospección hacia la parte norte de la salina, se encontró un área expuesta rodeada de mangle botoncillo y alejada del disturbio humano. Ahí fueron detectados individuos recién anillados y de temporadas anteriores. Se sabe que el chorlo nevado presenta una dispersión de larga distancia para reproducirse (Stenzel *et al.*, 1994). Es posible que durante las temporadas de 2015-2017, los chorlos se hayan dispersado a estas zonas a reproducirse y tuvieran un éxito reproductivo mayor no detectado. Otros estudios han confirmado que la decisión de ocupar un sitio para la reproducción depende en gran medida de las condiciones del hábitat y de la incidencia de disturbio humano (Colwell *et al.*, 2005; Webber *et al.*, 2013; Elli *et al.*, 2015).

Los resultados no muestran relación entre la superficie inundada y lodosa con la tasa de supervivencia de los pollos como se esperaba. Los datos disponibles obtenidos de las condiciones del hábitat a partir de las imágenes satelitales y el error de clasificación de estas (que no fue calculado) podrían explicar la nula asociación entre estas variables. Por otro lado, la temperatura promedio sí se asoció negativamente con el número de volantones producidos. Un descenso considerable de la población reproductiva en la Bahía fue reportado entre 2007-2010, considerando al deterioro del paisaje como una causa potencial (Cruz-López *et al.*, 2017). Los resultados de este estudio muestran como las condiciones del hábitat ocasionan inundaciones de nidos, y aunque no hubo relación directa con el éxito reproductivo, es necesario un monitoreo a profundidad durante todas las etapas de crecimiento del chorlo para tener una visión precisa del estado poblacional y los parametros que afectan a la especie. Por ejemplo,

durante la temporada desfavorable de 2017 obtuvimos un 62.8 % de nidos exitosos, una TSN anual de 0.58, pero solo una TSP anual del 0.02. Denotando que la etapa de pollo a volantón es un momento clave para el éxito reproductivo de la especie.

El SMI estuvo relacionado con las condiciones del hábitat, la temperatura, el sitio y fue diferente entre años. Fue consistente con las temporadas con mayor proporción de superficie húmeda pero no tuvo influencia sobre la tasa de supervivencia diaria de pollos. En el modelo de la TSP se integró el valor del SMI al momento de su eclosión, es probable que colocar su SMI al momento de su recaptura pudiera haberse ajustado mejor, pero no todos los pollos fueron recapturados. Por ejemplo, algunos pollos murieron dentro de los primeros días antes de su primera recaptura. Se esperaba que el SMI decayera a lo largo del periodo de estudio y solo excluyendo la temporada de 2016 así ocurrió. Este índice es el resultado de la masa corporal, la cual puede cambiar a lo largo del día. Por ejemplo, a través de la evaporación del agua corporal, por pérdida de las reservas de grasa del individuo (Szentirmai *et al.* 2001), o en respuesta a condiciones ambientales, sociales e incluso a nivel de individuo (Drent y Daan, 1980). Por ejemplo, aves adultas no almacenan grasa en grandes cantidades cuando el acceso a fuentes de alimento es predecible, por el contrario, tienden a incrementar su masa corporal cuando el acceso es impredecible (Drent y Daan, 1980). Esto pudo ocurrir en la temporada de 2016, donde el bombeo de agua de pozo intermitente en combinación de la rápida evaporación del agua, ofrecieron hábitats de forrajeo efímeros, obligando a los pollos a almacenar grasa rápidamente y por lo tanto obtener valores altos del SMI. Se debe considerar que los resultados obtenidos pueden estar influenciados por errores del investigador, ya que la toma de datos de la longitud del tarso fue realizada por varias personas. Además, debido al clima extremo de la salina cuyas temperaturas rebasan los 30°C, las áreas húmedas secan rápidamente el agua en la salina, por lo que las condiciones registradas al momento de la captura del pollo, no necesariamente son aquellas en las que el polluelo estuvo alimentándose. Razón por la cual, probablemente el SMI no tuvo peso para explicar la TSP.

El SMI fue relacionado con cuatro variables del hábitat y particularmente en las temporadas de 2007, 2010 y 2015 con solo cuatro o tres puntos durante el periodo de crianza (intervalo = 42-65 días). Una mayor cantidad de datos temporales en estas

temporadas pudo haber arrojado otros resultados, como que la superficie inundada o lodosa fueran los parámetros que explicaran con un mayor peso el SMI.

12. CONCLUSIONES

La variación en la cantidad de la superficie inundada, lodosa y seca fue diferente entre estas cinco temporadas. El patrón de hábitat óptimo esperado no se presentó en cuatro de las cinco temporadas. Eventos de sequía, marea de fondo y afluencia de agua de origen antrópico presentaron un hábitat impredecible para la anidación y forrajeo de pollos. El SMI es explicado por las condiciones del hábitat en la salina, la temperatura, el año y por la unidad de muestreo. No tuvo influencia en la tasa de supervivencia de pollos. El éxito reproductivo del chorlo nevado fue diferente entre las cinco temporadas de reproducción y fue evidente una disminución en la productividad de nidos, pollos y volantones. El éxito de nido y pollo son explicados por una interacción entre el año y el tiempo a través de la temporada de reproducción. La tasa de supervivencia de pollos no fue influenciada por las condiciones del hábitat. La temperatura promedio se asoció de manera negativa con el número de volantones producidos en cada temporada. Aunque, no se encontró evidencia directa de que las condiciones del hábitat (favorables o desfavorables) tengan influencia sobre el éxito de reproducción, la temperatura promedio (que finalmente modifica el hábitat) sí tuvo influencia sobre el número de volantones producidos. Los resultados respondieron a las preguntas de estudio, el hábitat fue variable, tuvo efecto sobre la condición corporal de los pollos, pero no sobre el éxito reproductivo. Sin embargo, dada la literatura existente se considera que un manejo del hábitat es necesario para evitar inundaciones y para asegurar acceso a áreas de forrajeo, tanto de adultos como de pollos. Desazolvamiento de los canales o bien el bombeo de agua hacia los estanques en la unidad C pueden ayudar a mantener la población reproductiva en la zona.

LITERATURA CITADA.

- Amat, J.A., y Masero, J.A. 2004. How Kentish plover *Charadrius alexandrinus*, cope with heat stress during incubation? *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 56(1): 26-33.
- Beintema, A.J., Beintema-Hietbrink, R.J., y Müskens, G.J.D.M. 1985. A shift in the timing of breeding in meadow birds. *Ardea* 73: 83–89.
- Beintema, A.J., y Visser, G.H. 1989. Growth parameters in chicks of Charadriiform birds. *Ardea*. 77(2): 169-180.
- Blonqvist, O., y Johansson, O.C. 1995. Trade-offs in nest site selection in coastal populations of Lapwings *Vanellus vanellus*. *Ibis*. 137(4): 550-558.
- Bohonak, A.J., y van der Linde, K. 2004. RMA: Software for Reduced Major Axis regression, Java version. Online: <http://www.kimvdlinde.com/professional/rma.html>.
- Bradley, N.L., Leopold, A.C., Ross, J., y Huffaker, W. 1999. Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. *Proceedings of The National Academy of Sciences USA*. 96(17): 9701-9704.
- Brown, J.L., Shou-Hsien, L., Bhagabati, N. 1999. Long-term trend toward earlier breeding in an American bird: a response to global warming? *Proceedings of The National Academy of Sciences USA*. 96(17): 5565-5569.
- Burnham, K.P., y Anderson, D.R. 2002. *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*, second edition. Springer-Verlag, New York, USA.
- Burger, J. 1991. Foraging behavior and the effect of human disturbance on piping plovers (*Charadrius melodus*). *Journal of Coastal Research*. 7: 39-52.
- Cézilly, F., Boy, V., Green, R.E., Hirons, G.J.M., y Johnson, A.R. 1995. Inter-annual variation in Greater Flamingo breeding success in relation to water levels. *Ecology*. 76(1): 20-26.
- Collazo, J.A., O’Harra, D.A. y Kelly, C.A. 2002. Accessible habitat for shorebirds: factors influencing its availability and conservation implications. *Waterbirds* 25(2): 13-24.
- Colwell, M.A., y Taft, O.W. 2000. Waterbird communities in managed wetlands of varying water depth. *Waterbirds*. 23:45-55

- Colwell, M.A., Millet, C.B., Meyer, J.J., Hall, J.N., Hurley, S.J., McAllister, S.E., Transou, A.N., y Le Valley, R.R. 2005. Snowy plover reproductive success in beach and river habitats. *Journal of Field Ornithology*. 76(4): 373-382.
- Colwell, M.A., Hurley, S.J., Hall, J.N. y Dinsmore, S.J. 2007. Age-related survival and behavior of snowy plover chicks. *The Condor*. 109: 638-647.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2021. Estudio Previo Justificativo para la declaratoria del Área de Protección de Recursos Naturales Lago de Texcoco. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 386 páginas y cinco Anexos.
- Congedo, L. 2016. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. *Release* (Documento libre) 6.0.1.1. 25pp. DOI:10.13140/RG.2.2.29474.02242/1.
- Cotton, P., 2003. Avian migration phenology and global climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 100(21): 12219-12222.
- Cruz-López, M., Eberhart-Phillips, L.J., Fernández, G., Beamonte-Barrientos, R., Székely, T., Serrano-Meneses, M.A., y Küpper, C. 2017. The plight of a plover: Viability of an important snowy plover population with flexible brood care in Mexico. *Biological Conservation*. 209: 440-448.
- Davidson, N.C., 2014. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*. 65: 934-941.
- De Marchi, G., Chiozzi, G., Semera, D., Mebrahtu, Y., Tayefeh, F.H., Almalki, M., y Fasola, M. 2015. Food abundance explains the breeding season of a tropical shorebird, the crab plover, *Dromas ardeola*. *Ostrich*. 86: 53-64.
- Dinsmore, S.J., White, G.C. y Knopf, F.L. 2002. Advanced techniques for modeling avian nest survival. *Ecology*. 83: 3476–3488.
- Dinsmore, S.J., y Dinsmore, J.J. 2007. Modeling avian nest survival in program Mark. *Studies in Avian Biology*. 34: 73-83.
- Dreitz, V. 2009. Parental behavior of a precocial species: implications for juvenile survival. *Journal of Applied Ecology*. 46: 870-878.
- Drent, R.H., y Daan, S. 1980. The prudent parent: energetic adjustments in avian breeding. *Ardea*. 68: 225-252.

- Ellis, K.S., Cavitt, J.F., y, Larsen, R.T. 2015. Factors influencing snowy plover (*Charadrius nivosus*) nest survival at Great Salt Lake, Utah. *Waterbirds*. 38: 58–67.
- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 34: 487-515.
- Frederick, P.C., y Collopy, M.W. 1989. Nesting success of five Ciconiiform species in relation to water condition in the Florida Everglades. *Auk*. 106: 625-634.
- Galindo-Espinosa, D., y Palacios, E. 2015. Estatus del chorlo nevado (*Charadrius nivosus*) en San Quintín y su disminución poblacional en la península de Baja California. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 86: 789-798.
- Gratto-Trevor, C. 1996. Use of Landsat TM Imagery in determining important shorebird habitat in the outer Mackenzie Delta, Northwest Territories. *Artic*. 49(1): 11-22.
- Gratto-Trevor, C. L., 2004. Manual del anillador de Norteamérica para aves playeras (Charadriiformes, suborden Charadrii). North American Banding Council and Canadian Wildlife Service. 47p.
- Isola, C.R., Colwell, C.A., Taft, O.W. y Safran, R.J. 2000. Interspecific differences in habitat use of shorebirds and waterfowl foraging in management wetlands of California's San Joaquin Valley. *Waterbirds*. 23(2): 196-203
- Jáuregui, O.E. 2003. El clima de Sinaloa (53-67 p.). En Cifuentes L. J. Gaxiola L. (eds.) *Atlas de los ecosistemas de Sinaloa*. Colegio de Sinaloa, México. 481 p.
- Johnson, M.D., y Oring, L.W. 2002. Are nest exclosures an effective tool in plover conservation? *Waterbirds*. 25: 184-190.
- Johnson, M.D. 2007. Measuring habitat quality: A review. *The Condor*. 109: 489-504.
- Kosztolányi, A., Székely, T., y Cuthill, I.C. 2007. The function of habitat change during brood-rearing in the precocial Kentish plover *Charadrius alexandrinus*. *Acta Ethologica*. 10: 73-79.
- Küpper, C., Lozano-Angulo, L., Cruz-López, M., y Bucio-Pacheco, M. 2007. Reproductive success and parental care of snowy plover *Charadrius alexandrinus nivosus* in Ceuta, Mexico. Unpublished report, University of Bath.
- Küpper C., Augustin, J., Kosztolányi, A., Burke, T., Figuerola, J., y Székely, T. 2009. Kentish Versus Snowy Plover: Phenotypic and Genetic Analyses of *Charadrius*

- alexandrinus* Reveal Divergence of Eurasian and American Subspecies. *Auk*. 126: 839–852
- Küpper, C., Cruz-Lopez, M., Rojas-Abreu, W., Lozano-Angulo, L., y Serrano-Meneses, M.A. 2012. Severe decline of threatened plovers at Bahía de Ceuta, Sinaloa, México. Unpublished report. University of Bath.
- Laake, J., y Rexstad, E. 2008. RMark—An Alternative Approach to Building Linear Models in MARK Program MARK: A Gentle Introduction
- Lack, D. 1968. Ecological adaptations for breeding in birds. London: Chapman and Hall. 409 pp.
- Ma, Z., Cai, Y., Li, B. y Chen, J. 2010. Managing wetland habitat for waterbirds: An international perspective. *Wetlands*. 30: 15-27.
- Mantyka-Pringle, C.S., Martin, T.G., y Rhodes, J.R. 2011. Interactions between climate and habitat loss effects on biodiversity: a systematic review and meta-analysis. *Global Change Biology*. 18: 1239–1252.
- Mazerolle, M.J. 2020. Model selection and multimodel inference using the AICcmodavg package. Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval, Canada.
- North American Bird Conservation Initiative. 2016. The State of North America's Birds 2016. Environment and Climate Change Canada: Ottawa, Ontario. 8 pp. www.stateofthebirds.org.
- Noszály, G., Székely, T., y Hutchinson, J.M.C. 1995. Brood survival of Kentish plover (*Charadrius alexandrinus*) in alkaline grassland and drained fish-ponds *Ornis Hungarica*. 5: 15-21.
- Ortega-Solís, L.E., Galindo-Espinosa, D., Figueroa-Esquivel, E.M., Rosales-Huerta, U., Cavitt, J.F., y Puebla-Olivares, F. 2022. Supervivencia de nidos del chorlo nevado *Charadrius nivosus* en Marismas Nacionales, Nayarit. *Huitzil*. 23(1): 1-10.
- Page, G.W., Stenzel, L.E., Warriner, J.S., Warriner, J.C., and Paton, P.W. 2020. Snowy Plover (*Charadrius nivosus*), version 1.0. In *Birds of the World* (A. F. Poole, Editor). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA. <https://doi.org/10.2173/bow.snoplo5.01>

- Paton, P.W.C., 1995. Survival estimates for snowy plovers breeding at Great Salt Lake, Utah. *The Condor*. 96: 1106–1109.
- Peig, J., y Green, A.J. 2009. New perspectives for estimating body condition from mass/length data: the scaled mass index as an alternative method. *Oikos*. 118: 1883-1891.
- Piersma, T., y Lindström, A. 2004. Migrating shorebirds as integrative sentinels of global environmental change. *Ibis*. 146: 61-69.
- Plaschke, S., Bulla, M., Cruz-López, M., Gómez del Angel, S. y Küpper, C. 2019. Nest initiation and flooding in response to season and semi-lunar spring tides in a ground-nesting shorebird. *Frontiers in Zoology*. 16:11pp.
- Quintero-Felix, R.S., y Contreras, C. 2019. Informe del monitoreo del chorlito nevado (*Charadrius nivosus*) en temporada reproductiva en el sitio Ramsar laguna de Atotonilco. Reporte interno. EcoKaban “comunidad, tierra y naturaleza”. Cedros 258, Colonia Ciudad Granja, Zapopan, Jalisco. Online: <http://www.ecokaban.org/blog/life/informe-monitoreo-del-c-nevado-may-jul-2019/>
- Reid, W., Mooney, H., Cropper, A., y Zurek, M. 2005. Millenium Ecosystem Assessment Synthesis Report. Washington, DC: Island Press.
- R Development Core Team. 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Rosa, S., Granadeiro, J.P., Cruz, M., y Palmeirim, J.M. 2007. Invertebrate prey activity varies along the tidal cycle and depends on sediment drainage: Consequences for the foraging behaviour of waders. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 353: 35-44.
- Rosenberg, K.V, Dokter, A.M., Blancher, P.J., Sauer, J.R., Smith, A.C., Smith, P.A., Stanton, J.C., Panjabi, A., Helft, L., Parr, M. y Marra, P.P. 2019. Decline of the North American avifauna. *Science*. 366: 120-124.
- Rzedowsky, J. 1979. *Vegetación de México*. Limusa. México, D.F.
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2019. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y

- especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 14 de noviembre de 2019, México. D. F.
- Smith, R.I. 1970. Response to pintail breeding populations to drought. *The journal of wildlife management*. 34(4): 943-946.
- Stenzel, L.E., Warriner, J.C., Warriner, J.S., Wilson, K.S., Bidstrup, F.C., Page, G.W. 1994. Long-distance breeding dispersal of snowy plovers in Western North America. *The Journal of Animal Ecology* 63: 887-902.
- Székely, T., Kis, J., y Kosztolányi, A. 2003. Using a mobile hide in wader research. *Wader Study Group Bulletin*. 103: 40-41.
- Székely, T., Kosztolanyi, A., y Küpper, C., 2008. Practical Guide for Investigating Breeding Ecology of Kentish Plover (*Charadrius alexandrinus*). Unpublished report. University of Bath.
- Szentirmai, I., Kosztolányi, A. y Székely, T. 2001. Daily changes in body mass of incubating Kentish Plovers. *Ornis Hungarica*. 11: 27-32.
- Thomas, G.H., Lanctot, R.B., Székely, T., 2006. Can intrinsic factors explain population declines in North American breeding shorebirds? A comparative analysis. *Animal Conservation*. 9: 252–258.
- Thomas, S.M., Lyons, J.E., Andres, B.A., T-Smith, E.E., Palacios, E., Cavitt, J.F., Royle, J.A., Fellows, S.D., Maty, K., Howe, W.H., Mellink, E., Melvin, S., Zimmerman, T., 2012. Population size of snowy plovers breeding in North America. *Waterbirds* 35: 1-14.
- U.S. Fish and Wildlife Service (U.S. F.W.S.). 2007. Recovery plan for the Pacific Coast population of the Western Snowy Plover (*Charadrius alexandrinus*). U.S. Fish and Wildlife Service, Sacramento, California.
- Velasquez, C. R. 1992. Managing artificial saltpans as a waterbird habitat: species responses to water level manipulation. *Colonial Waterbirds*. 15: 4-55.
- Warriner, J.S., Warriner, J.C., Page, G. y Stenzel, L.E. 1986. Mating system and reproductive success of a small population of polygamous snowy plover. *The Wilson Bulletin*. 98(1): 15-37.

- Webber, A.F., Heath, J.A., y Fischer, R.A. 2013. Human disturbance and stage-specific habitat requirements influence snowy plover site occupancy during the breeding season. *Ecology and Evolution*. 3(4): 853-863.
- White, G.C., y, Burnham, K.P. 1999. Program MARK: survival estimation from populations of marked animals. *Bird Study* 46 (Supplement):120–138.
- Wolfe, J. D., Johnson, M. D. y Ralph, C. J. 2014. Do bird's selection habitat or food resources? Nearctic-Neotropic migrants in Northeastern Costa Rica. *PLoS ONE*. 9(1): e86221. doi: 10.1371/journal.pone.0086221.