



# Modelo espacial para la detección de sitios potenciales para la alimentación de aves playeras migratorias en el noroeste de México.

Cynthia Carmona-Islas,<sup>1\*</sup> Javier Bello-Pineda,<sup>1</sup> Roberto Carmona<sup>2</sup> y Enriqueta Velarde.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana. Avenida Independencia No. 30, Colonia Centro, Boca del Río, Veracruz, 94290, México. \*[cynthiacarmonaislas@gmail.com](mailto:cynthiacarmonaislas@gmail.com).

<sup>2</sup>Laboratorio de Aves, Departamento de Biología Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur. Apartado Postal 19-B, La Paz, Baja California Sur, 23000, México.

## Resumen

La mayoría de las aves playeras migratorias hacen uso de los humedales principalmente como zonas de alimentación; estos sitios están sujetos a diversas amenazas debido a que en ellos convergen varios intereses humanos. El noroeste de México es una región que presenta gran abundancia de aves playeras y forma parte del corredor migratorio del Pacífico; sin embargo, aún no se cuenta con información sistemática que proporcione las bases para identificar y priorizar los hábitats aptos para la alimentación de estas aves y que brinde herramientas para desarrollar estrategias de manejo. Debido a la extensión y complejidad de estos hábitats, las imágenes de satélite son una herramienta útil para ubicarlos y caracterizarlos. En este trabajo, describimos un marco metodológico para desarrollar modelos espaciales como herramienta para identificar humedales potenciales para la alimentación de aves playeras migratorias mediante el análisis de imágenes satelitales Landsat TM, sistemas de información geográfica y métricas de paisaje. Nuestros resultados muestran diferencias consistentes en la configuración espacial de los sitios identificados en la Península de Baja California y el macizo continental. Asimismo, muestran que los sitios continentales presentan una mayor conectividad y extensión, mientras que los sitios peninsulares presentan menor extensión y mayor aislamiento. Discutimos que los aspectos que contribuyen al grado de importancia de un sitio como zona de alimentación para estas aves son su extensión, el grado de agrupamiento de los parches de sustrato húmedo dentro en cada zona y la distancia entre zonas.

**Palabras clave:** imágenes Landsat, SIG, humedales, métricas de paisaje, índice de humedad.

## Spatial modelling to detect potential feeding grounds for migratory shorebirds in northwestern Mexico.

### Abstract

Most migratory shorebird species use wetlands as primary feeding grounds. These ecosystems have been recognized to be some of the most threatened worldwide, due to the convergence of multiple human uses. The northwestern Mexico (NWM) supports significant numbers of shorebirds and is part of the Pacific migratory corridor; however, still lack systematic information that would allow us to identify and prioritize suitable habitats used by shorebirds as feeding grounds and give some elements to develop management strategies. Owing to the extension and complexity of these habitats, the use of satellite imagery is a useful tool to identify and characterize them. In this study we describe a methodological approach to develop spatial models as tools for detecting suitable feeding grounds for migratory shorebirds based on the analysis of Landsat TM imagery, GIS and landscape metrics. Our results showed that feeding peninsular sites are consistently small and isolated while those in the continent are large and highly connected. We discuss that the factors that contribute to the relevance of feeding grounds for migratory shorebirds are their extension, the grouping of wet soil patches, and the distance between sites.

**Key words:** Landsat imagery, GIS, wetlands, landscape metrics, wetness index.

HUITZIL (2013) 14(1):22-42

## Introducción

A lo largo de sus costas, México presenta un número importante de lagunas costeras; en ellas, uno de los grupos taxonómicos más conspicuos es el de las aves playeras (suborden Charadrii), especies que utilizan los humedales para actividades como alimentación, reposo,

paso migratorio e invernada. En México, las aves playeras están representadas por 53 especies pertenecientes a las familias Jacanidae, Haematopodidae, Recurvirostridae, Burhinidae, Charadriidae y Scolopacidae (Howell y Webb 1995, AOU 1998, Carmona *et al.* 2003). De estas familias, al menos

cuarenta especies son migratorias neárticas (Myers *et al.* 1987, O'Reilly y Wingfield 1995). Al migrar, realizan movimientos estacionales entre los sitios de reproducción y los de invernada, recorriendo distancias variables entre sitios aptos para su alimentación. Su alimento básico lo constituyen diversas especies de la infauna (organismos que viven entre las partículas del sustrato), a la que acceden introduciendo sus picos en sustratos arenosos o fangosos con aguas someras (Colwell 2010).

Se ha observado que la mayoría de éstas aves tiene preferencia por algunos tipos de humedales, específicamente por aquellos de mayor tamaño (Goss Custard y Yates 1992, Hernández 2005, Kusch y Huettmann 2006, Granadeiro *et al.* 2007), con sustratos blandos, expuestos y con poca vegetación. Esta última característica les permite una buena visibilidad para detectar a sus depredadores (Colwell 2010) y les facilita una penetración adecuada en el sustrato para la búsqueda de su alimento, pues las raíces existentes en una vegetación densa compactan los sedimentos (Fonseca y Fisher 1986), lo que dificulta la obtención de la infauna (Orth *et al.* 1984). Por ejemplo, para la Bahía de Delaware, se determinó la preferencia de estas aves por las planicies lodosas, en comparación con zonas de marismas (provistas de vegetación halófila) y playas expuestas; sin embargo, se considera importante que el paisaje presente desde planicies lodosas hasta marismas altas, a fin de proveer un mosaico de tipos de hábitat para el sustento de los grandes grupos de aves que hacen uso de la zona (Burger *et al.* 1997).

La Academia Nacional de Ciencias de EUA define a un humedal como "... un ecosistema que depende de la constante y recurrente inundación somera o saturación en o cerca de la superficie del sustrato. Las características mínimas esenciales de un humedal son la inundación recurrente o la saturación en o cerca de la superficie y la presencia de características físicas, químicas y biológicas que reflejan la inundación recurrente o la saturación". Esta definición se considera la de mayor rigor científico (Schnack 2006) por incluir en ella ecosistemas con procesos físicos y químicos similares que a su vez se reflejan en el tipo de comunidad biótica presente. Un sustrato bien humedecido, por consiguiente, es considerado el factor limitante más importante para definir una zona como potencial para la alimentación de las aves playeras migratorias.

Recientemente, ha crecido el interés internacional en las áreas de paso y sitios de invernada (Tsipoura y Burger 1999, Donaldson *et al.* 2000, Brown *et al.* 2001) donde las aves playeras se concentran en grandes números que pueden llegar a representar un gran porcentaje de su población y donde enfrentan grandes riesgos (Colwell 2010). Esta preocupación surge debido a que las declinaciones poblacionales de diferentes especies se atribuyen principalmente a la pérdida o

degradación de los humedales (Morrison *et al.* 2006, Colwell 2010). La degradación y pérdida de humedales es más rápida que la de otros ecosistemas, con el consecuente efecto negativo en las especies que hacen uso de ellos. El crecimiento poblacional humano es una de las razones principales de dicha degradación o pérdida (Millennium Ecosystem Assessment 2005); muchos de los humedales utilizados por las aves son empleados por el hombre para diferentes actividades (Colwell 2010). La elevada tasa de pérdida de estos hábitats aumenta la relevancia de mantener una red adecuada de sitios de parada para las aves playeras migratorias (Farmer y Parent 1997). En los últimos 20 años, diferentes especies de aves playeras han registrado disminuciones significativas en sus poblaciones, razón por la que se han iniciado esfuerzos internacionales para llevar a cabo acciones que garanticen su conservación y la de sus hábitats de reproducción, migración e invernada (Page *et al.* 1997, Donaldson *et al.* 2000, Brown *et al.* 2001, SEMARNAT 2008). Un paso básico para implementar estas acciones es la identificación de los humedales más utilizados por las aves playeras, trabajo prácticamente terminado en EUA y Canadá, pero aún inconcluso en la mayoría de los países latinoamericanos, incluido México (Carmona *et al.* 2011b). El poder identificar, en un área extensa como el territorio nacional, los humedales con características adecuadas para ser utilizados como zonas de alimentación por las aves playeras representa una importante inversión de esfuerzo y dinero. Los sistemas de información geográfica (SIG) han probado ser una herramienta costo-efectiva para el análisis de zonas extensas y complejas ya que permiten la incorporación de datos espaciales de distintas fuentes. Con ellos se pueden ubicar geográficamente atributos del ambiente, lo que permite que dichos datos se combinen, comparen y analicen en una sola base de información. Lacónicamente, los SIG pueden ser definidos como sistemas computarizados que capturan, guardan, manejan, analizan y despliegan datos georreferenciados (Salem 2003). El uso de SIG para desarrollar modelos espaciales que permitan ubicar humedales potencialmente aptos como zonas de alimentación para las aves playeras podría representar un ahorro significativo de esfuerzo y dinero para identificar los humedales potencialmente utilizados por estas aves en México. Este tipo de modelos puede proveer los insumos para el desarrollo de estrategias de manejo, además de tener el potencial de constituirse en una herramienta predictiva y aplicarse en situaciones similares en otros sitios.

El trabajo de campo en este tipo de ecosistemas es complejo debido a que son zonas de difícil acceso por ser, en su mayoría, lodosas y de gran extensión, como en la región del Alto Golfo ubicado en el extremo norte del Golfo de California, o por presentar formas irregulares,

como en Marismas Nacionales en el sur de Sinaloa y norte de Nayarit. Estos ecosistemas se han ubicado y estudiado mediante censos terrestres, náuticos y aéreos (Hernández 2006). Estos métodos permiten obtener datos puntuales de alta calidad; desafortunadamente, los primeros tienen una limitante espacial y los dos últimos son costosos. El uso de imágenes satelitales permite analizar áreas extensas y complejas, brindando los elementos básicos para la ubicación de humedales potenciales. Particularmente, las imágenes Landsat ETM ofrecen una opción viable debido a que son adquiridas en bandas múltiples que representan la señal de la energía electromagnética recibida en intervalos o bandas de longitud de onda. Esto permite hacer operaciones con estas bandas para poder resaltar características particulares de un paisaje determinado; en este caso, los humedales que reúnan características que las definan como principales zonas de alimentación de las aves playeras, complementando esta información con datos de censos.

En este trabajo, describimos el marco metodológico para el desarrollo de un modelo espacial basado en el análisis de imágenes Landsat que permita determinar la distribución y configuración espacial de zonas de humedales potenciales para la alimentación de aves playeras. Además, describimos los resultados obtenidos al aplicarlo en el noroeste de México donde, con fines prácticos, las zonas potenciales se clasificaron en sistemas y subsistemas. Los resultados que obtuvimos los contrastamos con la información existente para tratar de elucidar las características que realzan la importancia de algunos de estos sitios. Elegimos el noroeste de México porque se ha identificado como un área de gran importancia para las aves playeras (Morrison *et al.* 1992); además, esta región es la que cuenta con un mayor número de publicaciones sobre aves playeras (Carmona *et al.* 2011b), lo que permite tener insumos para la elaboración de este modelo.

## Métodos

### Área de estudio

La región noroeste de México está conformada por los estados de Baja California (BC), Baja California Sur (BCS), Sonora, Sinaloa y Nayarit (Carmona *et al.* 2011a). Debido a su ubicación geográfica y a su extensión, esta región presenta amplia heterogeneidad climática y de ecosistemas; en ella se da la transición entre la zona Neártica y la Neotropical (Mittermeier y Goettsch 1992), y el clima varía desde seco desértico hasta tropical lluvioso (García y CONABIO 1998). Su zona costera también es heterogénea; la mayor parte de las costas de la parte sur y central de la Península de Baja California son rocosas, mientras que en los estados continentales (Sonora, Sinaloa y Nayarit) hay varias playas arenosas interrumpidas por macizos rocosos.

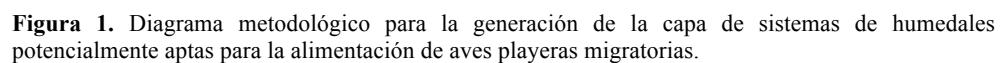
Tanto en estas últimas como en el litoral peninsular, existen lagunas costeras, bahías y estuarios bordeados por manglares y marismas salinas con vegetación halófila (Thomson *et al.* 1979), en cuyos márgenes se presentan zonas con sustratos de grano fino con humedad elevada. Los vientos del noroeste prevalecen de noviembre a mayo, mientras que el resto del año soplan vientos del sureste (Ulloa *et al.* 2006). El régimen de mareas en la costa occidental de la Península de Baja California es semidiurno con una amplitud máxima de 2.5 m en las cercanías de Punta Abreojos. En los litorales del Golfo de California la marea es mixta, semidiurna cuando la luna influencia en mayor medida al ecuador y diurna cuando la declinación solar es fuerte; las mayores amplitudes se localizan en Santa Rosalía, BCS, y en el Alto Golfo (Ulloa *et al.* 2006). Esta región cuenta con más de 3,300 km de litoral.

### Materiales y métodos

El manejo y análisis de imágenes incluyó cinco etapas (Figura 1): (1) análisis inicial de imágenes de satélite, (2) aplicación del índice de humedad, (3) edición contextual, (4) selección y máscara de altitud, y (5) delimitación de sistemas y análisis de métricas de paisaje.

Utilizamos 33 imágenes de satélite (adquiridas con el sensor ETM 7 del sistema de satélites Landsat) del periodo 1999-2001, disponibles en la página electrónica de la organización Landsat <[www Landsat.org](http://www Landsat.org)> y que proyectamos al sistema Cónico Conforme de Lambert. Con la finalidad de ubicar en las imágenes Landsat las zonas costeras con sustrato húmedo, utilizamos una serie de algoritmos con el fin de obtener en ellas sólo los valores digitales del suelo desnudo, enmascarando las zonas de agua y las de vegetación. Primero, elaboramos una máscara de agua utilizando la banda cuatro (que recibe las señales correspondientes al infrarrojo cercano) para determinar sus valores digitales; puesto que este intervalo de longitudes de onda no penetran la columna de agua aparece con valores digitales muy bajos. Elegimos esta banda tomando en consideración los errores de comisión reportados por Frazier y Page (2000) para las bandas que pueden ser utilizadas para este fin. Una vez definidos los valores digitales de los cuerpos de agua, confirmamos lo observado utilizando imágenes Landsat compuestas en color verdadero e imágenes de Google Earth que, de acuerdo con algunos autores (NIEs 2007, Chen *et al.* 2008), es un medio válido de visualización que puede apoyar diversas áreas de la investigación científica. Para identificar y posteriormente enmascarar las zonas de vegetación, utilizamos el índice normalizado de vegetación (Rouse *et al.* 1974 en Eastman 2012) que permite discriminar zonas con cualquier tipo de vegetación mediante una fórmula que utiliza las bandas tres (que recibe las señales correspondientes al rojo visible) y cuatro (que recibe las

las imágenes correspondientes a la máscara de agua y a la de vegetación para obtener una imagen que no incluyera estas zonas, a la cual llamamos “suelo desnudo”.



Una vez enmascaradas el agua y la vegetación, en la siguiente etapa discriminamos sólo aquellos suelos con alto contenido de humedad, para lo cual utilizamos la fórmula del índice de humedad descrita por Crist *et al.* (1986; Ecuación 1).

La aplicación de éste índice nos permitió diferenciar las zonas cuyo sustrato presentaba mayor humedad, sin que éste se confundiera con agua o vegetación lo cual es importante considerando que el tamaño del grano del sustrato determina el grado de retención de agua; los sustratos de grano fino son los que

presentan una mayor retención (Ortíz y Ortíz 1980) y constituyen el tipo de sustrato más común en las zonas de humedales, las preferidas por las aves playeras para su alimentación.

Para evitar la confusión de suelo desnudo con sitios de brillantez elevada, aplicamos el índice de brillantez descrito también por Crist *et al.* (1986), seguida de una máscara de brillantez elaborada con los valores digitales de las zonas identificadas por este índice como altamente reflectivas o brillantes (Ecuación 2).

#### Ecuación 1.

$$WI = 0.1446(TM1) + 0.1761(TM2) + 0.3322(TM3) + 0.3396(TM4) - 0.6210(TM5) - 0.4186(TM7)$$

donde:

WI Índice de humedad (Wetness Index).

TM Thematic Mapper. El número hace referencia al número de banda de la imagen Landsat, con el agua y la vegetación previamente enmascaradas.

#### Ecuación 2.

$$BI = 0.2909(TM1) + 0.2493(TM2) + 0.4806(TM3) + 0.5568(TM4) + 0.4438(TM5) + 0.1706(TM7)$$

donde:

BI Índice de brillantez (Brightness Index)

TM Thematic Mapper. El número hace referencia al número de banda de la imagen Landsat, con el agua y la vegetación previamente enmascaradas.

Para sustraer de la imagen las zonas con elevada salinidad, elaboramos una máscara de zonas hipersalinas con los valores digitales de la banda tres pues al analizar las firmas espectrales de sitios hipersalinos de sustrato seco y de sustrato lodoso observamos que los cuerpos de agua hipersalinos presentaron valores elevados para las longitudes de onda de esta banda. Para verificar las zonas de suelo brillante o lagunas hipersalinas, utilizamos imágenes de Google Earth y datos de campo disponibles para algunas zonas.

Dado que el objeto de este trabajo fue delimitar sólo los humedales aledaños a la costa, utilizamos un modelo digital de elevación que obtuvimos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (Jarvis *et al.* 2008) que nos permitió extraer de las imágenes únicamente las zonas con altitudes menores a 10 m snm.

Posteriormente, exportamos estas imágenes a ArcGis 9.3 para crear el modelo de humedales potenciales para la alimentación de aves playeras en el noroeste de México que teóricamente cumplían con los requisitos de ser zonas con sustratos de grano fino y

humedad elevada, comúnmente llamadas zonas lodosas. Categorizamos los humedales potenciales en sistemas y subsistemas. Para delimitarlos utilizamos tres criterios: (1) continuidad de los humedales potenciales, donde manejamos una distancia máxima de 10 km de separación para considerarlos dentro de un mismo sistema; lo anterior bajo el criterio de que esta distancia representa un valor medio del rango de búsqueda diaria de alimento para las distintas tallas y especies de aves playeras (Warnock y Takekawa 1995, Warnock 1996, Farmer y Parent 1997, Leyrer *et al.* 2006). (2) Para fines prácticos, dividimos los sistemas extensos en subsistemas, utilizando los límites de cuencas obtenidos de la cartografía de cuencas de la CONABIO (2012). (3) Para llevar a cabo las divisiones que dieron origen a los subsistemas, consideramos, en lo posible, los cuerpos de agua costeros completos. Utilizamos estos criterios por la necesidad de definir unidades de análisis de métricas de paisaje con significado ecológico. Algunos sistemas o secciones de sistemas han sido identificados previamente bajo alguna categoría de importancia de la Red

Hemisférica de Reservas de Aves Playeras (RHRAP; Anexo 1). El modelo que obtuvimos, nos permitió identificar una serie de sistemas de humedales potenciales altamente heterogéneos en forma y tamaño.

La configuración del paisaje en términos de área del humedal, estructura de sus parches (densidad, fragmentación y conectividad), entre otros, ejerce un efecto importante en los organismos (Farina 2006). Por esto, analizamos una serie de métricas del paisaje mediante el programa Fragstats 3.3 (McGarigal *et al.* 2002). Las métricas de área que consideramos fueron el área total, área de los parches (media, desviación estándar y coeficiente de variación), número de parches, proporción de parches adyacentes, y el agrupamiento y conectividad de parches (Cuadro 1).

Realizamos el análisis para cada sistema y subsistema a nivel de clase considerando una regla de vecindad de ocho píxeles, es decir, tomando en cuenta los cuatro píxeles ortogonales y los cuatro diagonales que están en contacto directo con el píxel analizado, asegurando así la continuidad de las zonas lodosas en la determinación de los parches de lodo. Para obtener el área total de los sistemas completos, sumamos las áreas de los subsistemas correspondientes. Definimos una distancia de 5 km para el índice de conectividad, que

calcula el porcentaje de parches dentro de ese rango de distancia en un sistema o subsistema, por considerarse como un promedio del ámbito hogareño de las especies de aves playeras de tamaño pequeño (Warnock y Takekawa 1995, Gunnels 1999), asumiendo que las aves de tamaño pequeño tendrían acceso a todos los parches dentro de ese rango de distancia en un sistema o subsistema.

Las imágenes de satélite que utilizamos no tuvieron corrección radiométrica previa, ésta elimina las diferencias entre imágenes debidas a las distintas condiciones del sensor, del sol y atmosféricas (Mumby y Clarck 2000); sin embargo, con fines comparativos, a las imágenes satelitales de dos de los principales humedales utilizados por las aves playeras, Guerrero Negro (sistema 27) y Marismas Nacionales (14), les hicimos la corrección radiométrica sugerida por Huang *et al.* (2001), en la que se eliminan los efectos producidos por las diferentes condiciones del sensor y del sol; posteriormente, calculamos los índices de verdor, brillantez y humedad desarrollados para imágenes Landsat 7, con corrección radiométrica previa, sugeridas por Huang *et al.* (2002) y calculamos el área lodosa para compararla con la determinada sin la corrección.

**Cuadro 1.** Métricas de paisaje utilizadas para el análisis de los sistemas y subsistemas de zonas potenciales para la alimentación de aves playeras migratorias en el noroeste de México.

Métrica	Descripción
CA (área total de la clase)	Suma de las áreas de todos los parches del tipo correspondiente.
NP (número de parches)	Número de parches del tipo correspondiente.
Estadísticos de área	MN: área promedio de los parches. DE: desviación estándar de las áreas de los parches. CV: coeficiente de variación de las áreas de los parches.
CONNECT (índice de conectividad)	Número de uniones funcionales entre parches de la clase de interés (parches de lodo separados por menos de 5 km), dividido por el número total de posibles uniones entre todos los parches de la misma clase, multiplicado por 100 para convertirlo a porcentaje. Adquiere el valor de 0 cuando hay un solo parche, o ninguno de los parches está a la distancia indicada. Adquiere el valor de 100 cuando todos los parches están dentro de la distancia indicada.
AI (índice de agregación)	Número de adyacencias presentes (entre píxeles de lodo) dividido por el máximo número posible de adyacencias, lo cual ocurre cuando la clase está agregada en un sólo parche compacto, multiplicado por 100 para convertirlo a porcentaje.

## Resultados

La metodología aquí descrita nos permitió detectar las zonas con sustratos de grano fino altamente humectados (principalmente lodosos) que, de acuerdo con Colwell (2010), son los sitios preferidos por la mayoría de aves playeras para su alimentación. Detectamos todas las

zonas lodosas reportadas como sitios de alimentación en la bibliografía existente.

El modelo nos permitió identificar 41 sistemas potenciales de alimentación para aves playeras migratorias (Figura 2). El Anexo 1 muestra los nombres y localizaciones de todos ellos, así como la información referente a su relevancia para las aves playeras

migratorias de acuerdo con la RHRAP e información publicada de censos. Para 21 de los sistemas identificados no existe información disponible, mientras que de los 20 sistemas restantes, 11 cuentan con algún reconocimiento por parte de la RHRAP y en dos de ellos se han reportado cifras de aves playeras que los hacen sitios candidatos a ser incorporados en la RHRAP. De acuerdo con los criterios establecidos en este trabajo, dada su extensión, los sistemas 1, 12, 13, 14 y 38 se fraccionaron en subsistemas (Anexo 1).

Debido al número elevado de sistemas identificados, los resultados individuales de las métricas de paisaje para cada uno de ellos se presentan en el Anexo 2. El Cuadro 2 muestra los sistemas de mayor extensión comparados con el valor de importancia asignado a cada uno en la RHRAP. En la zona de estudio identificamos 317,723 ha de sustrato de humedad elevada. Los sistemas que presentan las mayores superficies son también los de mayor importancia para las aves playeras (Cuadro 2). De los 41 sistemas, 16 se ubican en el continente, con una superficie mayor a 222,000 ha, y los restantes 24 en la Península de Baja California, con una superficie de poco más de 27,000 ha. El sistema del Alto Golfo presenta una parte en la Península y otra en el continente, con 68,000 ha.

Respecto a la métrica de densidad, los sistemas con mayor cantidad de parches fueron: 14 (80,132), 13 (76,098), 1 (51,083), 12 (34,909), 38 (14,274 parches) y 27 (10,976). De estos seis sistemas, cinco son identificados también como los de mayor extensión (Cuadro 2).

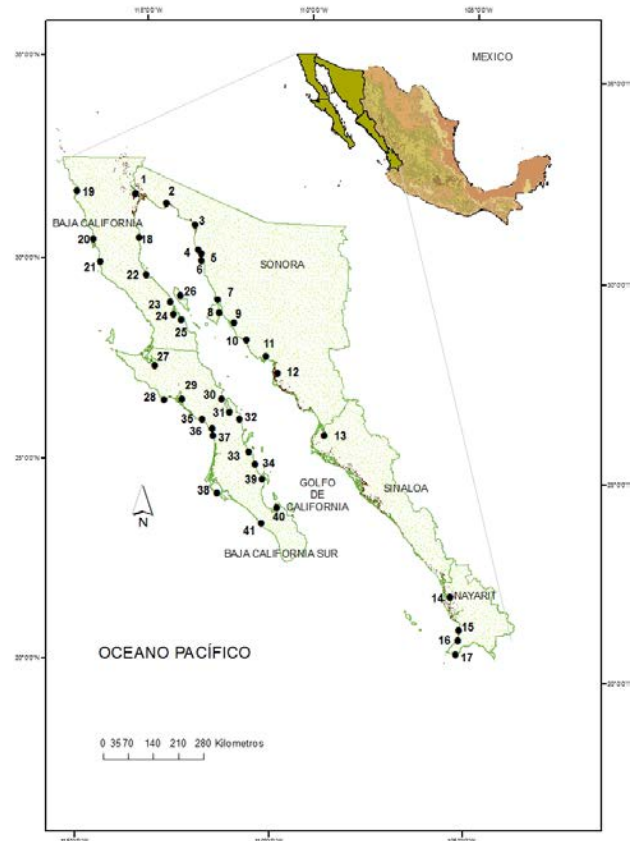
Las demás métricas las analizamos considerando los subsistemas, ya que para las métricas calculadas no tendría sentido analizar de manera aditiva los resultados de dichos subsistemas.

Los sistemas y subsistemas con un mayor valor de agregación (AI) son el subsistema 1.5 (96%), el subsistema 1.4 (92%), el sistema 2 (91%), el sistema 3 (91%) y el sistema 22 (90%), lo que indica que estos sistemas y subsistemas son los que presentan un área de sustrato húmedo más continua o menos fragmentada.

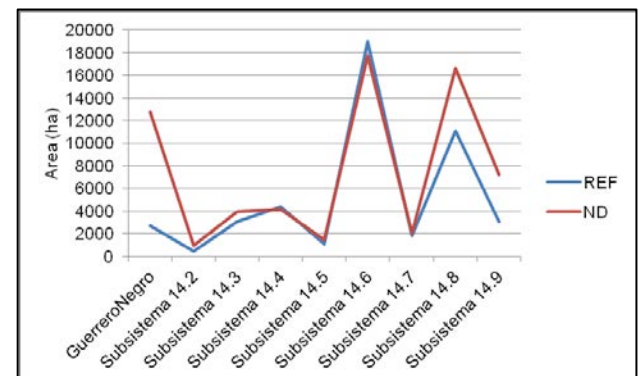
En lo que respecta al índice de conectividad, calculamos un valor de 100 (que indica que todos los parches están a una distancia menor a 5 km) en los sistemas 6, 21, 22, 23, 26, 32, 33, 34 y 37, y en el subsistema 1.5. Esto indica que en estos sitios todos los parches de sustrato húmedo quedan dentro del ámbito hogareño de las aves playeras de talla pequeña.

Comparando las áreas de lodo identificadas para estos sitios mediante la técnica que incluye la corrección radiométrica y la que utilizamos en este trabajo, observamos que, en general, muestran gran similitud a excepción del humedal de Guerrero Negro y de los

subsistemas 14.8 y 14.9 correspondientes a Marismas Nacionales (Figura 3).



**Figura 2.** Sitios potenciales de alimentación para aves playeras migratorias en el noroeste de México.



**Figura 3.** Área de lodo (ha) en los humedales de Guerrero Negro (sistema 27) y Marismas Nacionales (sistema 14) aplicando el índice de humedad de Crist *et al.* (1986; "ND") y el de Huang *et al.* (2002; "REF").



**Cuadro 2.** Sistemas más extensos de zonas potenciales para la alimentación de aves playeras migratorias, en orden descendente. Para detalles de los sitios en la Red Hemisférica de Reservas de Aves Playeras (RHRAP) ver Anexo 1.

Sistema	Área (ha)	Importancia en la RHRAP
13 Agiabampo-Pabellones (Sinaloa)	95,586	Un sitio hemisférico, un sitio internacional y uno regional
1 Alto Golfo (Sonora, BC)	68,211	Sitio internacional
14 Dimas-Tovara (Nayarit y sur de Sinaloa, incluye el ANP Marismas Nacionales)	55,403	Un sitio regional y uno internacional
12 Guásimas-Yávaros (sur de Sonora)	48,959	Potencialmente podría contener un sitio internacional y uno regional
27 Guerrero Negro-Ojo de Liebre-Exportadora de Sal (BC, BCS)	12,751	Un sitio hemisférico
2 Adair (Sonora)	10,502	Poco importante
3 Marúa (Sonora)	6,810	Poco importante
29 El Coyote-San Ignacio (BCS)	5,175	Internacional
38 Bahía Magdalena (BCS)	5,017	Regional
20 San Quintín (BC)	1,436	Regional
9 Kino (Sonora)	1,406	Poco importante
10 Tastiota (Sonora)	1,064	Poco importante
11 Guaymas (Sonora)	895	Poco importante
40 La Paz (BCS)	636	Regional
28 Bocana (BCS)	501	Por si mismo poco importante, pero en conjunto con sistema 29 sitio internacional
7 El Sargento (Sonora)	354	Sin información
5 Los Tanques (Sonora)	314	Sin información
4 Río Concepción (Sonora)	303	Sin información
18 Percebú (BC)	284	Sin información

## Discusión

Los resultados evidencian que, a pesar de que el noroeste de México es la región con más estudios sobre aves playeras (Carmona *et al.* 2011b), aún existen huecos notorios de información ya que de los 41 sistemas que aquí identificamos, no hay información disponible para 21 de ellos; la mayoría son humedales con poca extensión (menos de 300 ha), pero que en conjunto podrían albergar números importantes de aves playeras.

La preferencia de las aves playeras por humedales extensos (Goss-Custard y Yates 1992, Hernández 2005, Kusch y Huettmann 2006, Granadeiro *et al.* 2007) explica que, en la Península de Baja California, el sistema 27 Guerrero Negro-Ojo de Liebre, el más grande, sea también el que presenta el mayor número de aves (Carmona *et al.* 2011), al grado de estar catalogado como de importancia hemisférica. El sistema 29 Laguna San Ignacio, el segundo sitio en extensión, está catalogado como de importancia internacional. A estos dos sistemas se suman los sistemas 20 San Quintín, 38 Bahía Magdalena y 40 La Paz registrados como de importancia regional (Anexo 1). El sistema 38 Bahía Magdalena llama la atención ya que, pese a ser el tercero en tamaño, sólo alcanza el reconocimiento de sitio de importancia regional, semejante al sistema 40 La Paz que es casi 10 veces más pequeño. Es probable que esto se relacione con el hecho de que los parches de sustrato húmedo del sistema 38 se encuentran más fraccionados

(AI=40%) que en el sistema 40 (53%); el menor agrupamiento es un indicador de poca continuidad de las zonas húmedas. A pesar de que el sustrato es húmedo en el sistema 38, está más consolidado (Carmona *obs. pers.*) que en las zonas preferidas por estas aves en el sistema 40 (parte sur de la ensenada de La Paz; Carmona 2007). Esto está influenciado por la cantidad de vegetación presente (manglar y vegetación de marisma), pues los sustratos con vegetación difieren de las planicies intermareales no sólo en sus características químicas y texturales, sino también en las comunidades bentónicas presentes (Neira *et al.* 2006), en la visibilidad de las aves para detectar depredadores y en una mayor consolidación del sustrato a causa de las raíces de las plantas (Fonseca y Fisher 1986), lo que puede dificultar la obtención de alimento por las aves playeras (Grant 1984, Orth *et al.* 1984). El sistema 28 La Bocana, a pesar de tener un área similar en extensión al sistema 40 La Paz, está reportado como de poca importancia. Este sistema se ubica a aproximadamente 13 km al norte del relativamente extenso sistema 29 Laguna de San Ignacio y a aproximadamente 77 km al sur del importante sistema 27 complejo lagunar de Guerrero Negro-Ojo de Liebre. Los demás sistemas tienen menos de 300 ha, tres de ellos se reportan como poco importantes (Palacios y Alfaro 1991, Ruíz-Campos y Rodríguez-Meraz 1993, González 1996, Page *et al.* 1997, Maimone-Celorio y Mellink 2003, Lobera 2007) y de los 15 restantes no hay información.



La extensión de los sistemas es un factor que afecta el número de aves playeras que los utilizan y por ende, su nivel de importancia (Cuadro 2); sin embargo, una característica que probablemente realza la importancia de los sistemas es su grado de aislamiento. Howard (2003) encontró que en el caso de las aves migratorias, la elección de sus sitios de parada es explicada, en gran parte, por la distancia entre ellos. Ésta puede ser la razón de la abundante presencia de aves en el sistema 40 La Paz, que a pesar de ser relativamente pequeño, está aislado, lo que aparentemente le favorece para estar considerado como de importancia regional.

En lo que respecta a los humedales continentales, hay sistemas que abarcan grandes extensiones y varios sitios lagunares por lo tanto, si al menos uno de estos sitios está considerado como de importancia para las aves playeras, todo el sistema debería tener al menos ese nivel de importancia. El sistema 13, que incluye a Bahía Santa María y Pabellones, fue el más grande y está catalogado como de importancia hemisférica; el 14, que incluye a Marismas Nacionales, es el segundo en tamaño y se considera de importancia internacional, y el 12, ubicado en la costa sur de Sonora, es tercero en tamaño y potencialmente de importancia internacional. Los sistemas 2 Bahía Adair y 3 Estero María, en Sonora, son cuarto y quinto en extensión respectivamente y se reportan como de poca importancia (Cuadro 2). A pesar de que la extensión de las zonas lodosas de los sistemas 2 y 3 es mayor que la del sistema 29 Laguna de San Ignacio, en BCS, sus parches se encuentran bien agrupados (AI=91% en ambos); se ha reportado que son utilizados por números modestos de aves playeras (Morrison *et al.* 1992, Soto-Montoya *et al.* 2009). Los sistemas 2 y 3 se ubican a aproximadamente a 40 km al sur del sistema del Alto Golfo y tienen una separación entre ellos de 13 km; es decir, son relativamente cercanos, pero sobre todo lo son de un sistema extenso e importante para las aves playeras como lo es el Alto Golfo.

El número de parches es otra métrica que nos ayuda a caracterizar un paisaje; sin embargo, por sí solo puede no ser un buen indicador del grado de fragmentación, pues los sistemas presentan extensiones muy distintas; así, es comprensible que los sistemas con mayor número de parches sean los de mayor extensión.

En lo que respecta al índice de conectividad, los sistemas que presentaron los mayores valores son muy pequeños (con excepción del subsistema 1.5). La extensión pequeña de estos sistemas podría favorecer que los parches de sustrato lodoso se encuentren a poca distancia entre sí. En el caso del subsistema 1.5, se trata de la zona intermareal del islote ubicado al este de la Isla Montague, en el Alto Golfo, conformado básicamente por sustrato poco consolidado con vegetación escasa o nula, lo que favorece su continuidad.

El índice de agregación parece ser un indicador indirecto de la consolidación del sustrato, pues cuantifica el grado de agregación a nivel de paisaje y de clase (He *et al.* 2000, Li *et al.* 2005). Las planicies lodosas presentan un mayor valor de este índice debido a la continuidad del sustrato lodoso (que está también menos consolidado), en comparación con las zonas lodosas con vegetación (que a su vez presentan un sustrato más consolidado), pues de acuerdo con Fonseca y Fisher (1986), las raíces de la vegetación compactan el sustrato. Considerando que un sustrato poco consolidado facilita la alimentación de las aves (Grant 1984), los sistemas o subsistemas con valores altos de éste índice serán los más adecuados para la alimentación de las aves playeras.

Considerando las necesidades de las especies migratorias, incluidas las aves playeras, es imprescindible un reenfoque del paradigma actual de conservación del país, que se basa en el establecimiento de áreas naturales protegidas aisladas, hacia una consideración de instrumentos de manejo de corredores ecológicos que permitan incluir una serie de sitios requeridos por las especies migratorias. Está documentado que la pérdida de un sitio crítico puede tener como consecuencia un descenso en el número de distintas poblaciones (Morrison y Myers 1987). Así, las estrategias de conservación deben considerar un enfoque paisajístico en el caso de las aves migratorias (Davidson *et al.* 1998, Howard 2003).

Algunas zonas de los sistemas potencialmente aptos que identificamos como lodosas en las imágenes Landsat no pudieron ser identificadas en las imágenes de Google Earth usadas como apoyo. Por ejemplo, la zona ubicada al sur de Punta Final, BC (29°41'30.13"N, 114°09'41.96"O), que detectamos en imágenes de 2000 y 2001, no la observamos en la imagen de Google Earth de octubre de 2011. Un caso similar sucedió con la zona costera cercana a Huatabampo, Sonora, donde, con las imágenes Landsat de noviembre de 2000 y octubre de 2001 identificamos una zona lodosa extensa que actualmente está reducida a unos cuantos manchones con un extenso desarrollo humano aledaño. Lo anterior pone de manifiesto la pérdida y degradación de sitios importantes para las aves playeras y remarca la necesidad de realizar planes de conservación en los aún existentes, cuyo paso inicial es determinarlos, y es aquí donde los métodos que presentamos pueden contribuir notablemente.

La metodología que describimos permitió detectar, con buena precisión, los humedales en los que potencialmente se alimentan las aves playeras del noroeste de México. Esta afirmación se fundamenta en que la metodología incluyó todos los humedales de los que hay información publicada, además de todas las áreas consideradas en la RHRAP con algún grado de importancia. Incluso, detectamos humedales muy

pequeños, como el sistema 37 (1.8 ha), susceptibles de ser corroborados en campo. Además, el enfoque metodológico que aquí proponemos puede ser de utilidad para estudiar otras regiones del país donde existe un menor conocimiento sobre las áreas de importancia para este grupo taxonómico, pues la cantidad de información para las otras cinco regiones del país (centro, noreste, norte-centro, Pacífico sur y Península de Yucatán; SEMARNAT 2008) es mínima (Carmona *et al.* 2011b). El uso de este enfoque permitiría optimizar el uso de los recursos para la búsqueda de nuevos sitios importantes para la alimentación de aves playeras migratorias, complementándose con trabajo de campo, ya que puede ser utilizada para identificar hábitats críticos en regiones donde actualmente existen pocos trabajos previos, o como base en la planeación del trabajo de campo. Cabe mencionar que, en general, el enfoque de este trabajo es ubicar los humedales potenciales para la alimentación de las aves playeras migratorias, pero la metodología puede adecuarse a grupos específicos de aves (grandes, pequeñas, de alimentación exclusiva en zonas intermareales, dulceacuícolas, etc.).

Comparando lo obtenido con la información existente, resulta claro que las características ambientales detectadas en un sitio, vía la metodología aquí planteada, permiten plantear hipótesis respecto a su probable utilización por las aves para esto, es necesario definir cuáles son las características importantes a la escala del estudio realizado. A la escala de este trabajo, encontramos que las características adecuadas que definen la aptitud de un sitio son la humedad del sustrato, su extensión, su grado de agrupamiento y el aislamiento entre sitios.

El índice de humedad que utilizamos nos permitió detectar sustratos húmedos. Por las características de los distintos tipos de sustrato, específicamente en lo referente al tamaño de sus partículas, los sustratos de grano muy fino, comúnmente conocidos como lodosos, son los que retienen mayor humedad y son los sitios de alimentación preferidos por las aves playeras migratorias, es decir, que el principal tipo de sustrato detectado por el procedimiento aquí descrito es el lodoso. Con base en lo que observamos mediante las imágenes de Google Earth, el modelo parece tener una buena discriminación de sitios potenciales.

Al analizar las áreas identificadas con la técnica que incluye la corrección radiométrica y la que utilizamos en este trabajo, observamos que Guerrero Negro es el sistema en el que se presentan mayores diferencias entre los métodos. Observamos que, utilizando el procedimiento sugerido por Huang *et al.* (2002), podemos discriminar, pero no identificar como húmedas, varias zonas lodosas (Figura 4). Esto probablemente se deba al mayor efecto de la brillantez de

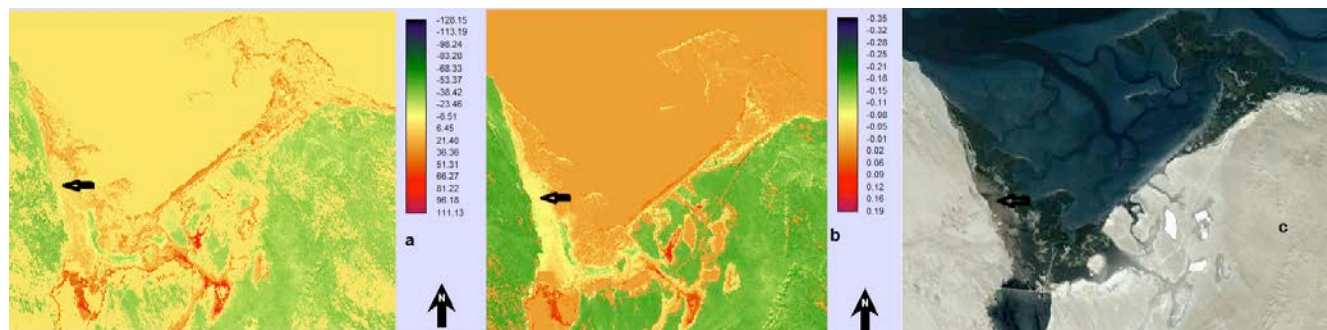
la atmósfera en las bandas visibles de suelos oscuros (Kaufman 1989 en Huang *et al.* 2002), tomando en consideración que los sustratos lodosos son oscuros y que podría ser más evidente en imágenes que muestren también zonas con elevada brillantez, como es la imagen de la Península, la cual presenta un sustrato muy blanco y reflectivo, común en las zonas áridas. Adicionalmente, en las instalaciones de la Compañía Exportadora de Sal en Guerrero Negro, se encuentran diversas lagunas de concentración y precipitación de sal que son también altamente reflectivas y que podrían estar afectando la detección de las zonas húmedas debido a la brillantez de la atmósfera. De acuerdo con Vogelmann *et al.* (2001), el impacto de no corregir la atmósfera puede ser mayor que el impacto de no corregir el efecto de los instrumentos del sensor para las bandas visibles, y con la corrección radiométrica sugerida por Huang *et al.* (2001) se corrigen las diferencias producidas por el sensor y el sol, pero no las atmosféricas. A pesar de que en el procedimiento que utilizamos no llevamos a cabo ninguna corrección radiométrica, parece tener una buena detección de zonas lodosas debido, probablemente, a que las bandas de onda corta (1 y 2, principalmente) las utilizamos únicamente en las fórmulas de los índices de humedad y brillantez y con valores bajos ya que, de acuerdo a Vogelmann *et al.* (2001), las bandas de onda corta presentan mayor efecto atmosférico y al excluirlas de un análisis se puede reducir el efecto de la atenuación atmosférica (Foody *et al.* 1996). Además, al haber enmascarado los píxeles que mostraban zonas de agua y de vegetación para cada imagen de manera independiente, antes de aplicar el índice de humedad, clasificamos las imágenes y, de acuerdo con Singh (1989), al clasificar las imágenes de manera independiente antes de analizarlas, se minimizan las diferencias provocadas por la atmósfera en diferentes imágenes. Por último, comparando con otras imágenes Landsat, las imágenes Landsat 7 presentan menos interferencia radiométrica (Vogelmann *et al.* 2001).

Es imprescindible aclarar que Guerrero Negro es una de las áreas más estudiadas con respecto a aves playeras (Carmona y Danemann 1998, Danemann *et al.* 2002, Arce 2011, Carmona *et al.* 2011b). Por la experiencia en campo, sabemos que con la metodología sugerida por Huang *et al.* (2002) se están subestimando zonas lodosas con una probabilidad mucho más alta que la sobreestimación de la metodología seguida en este trabajo. Dada la extensión del área de estudio sería difícil comprobar en campo la eficiencia del manejo de imágenes para ubicar zonas lodosas; sin embargo, revisamos las imágenes contrastándolas con lo observado en Google Earth. Observamos congruencia entre las zonas detectadas por este método y lo observado en las imágenes aéreas y terrestres de Google Earth. Es claro que deba existir algún grado de error en la ubicación de las zonas lodosas; sin embargo, con base en lo observado,

éste es menor que utilizando el procedimiento sugerido por Huang *et al.* (2002).

Con el fin de dar continuidad a este trabajo, recomendamos determinar, en los humedales detectados en este trabajo, cuales son críticos para las aves playeras migratorias y revisar para éstos los esquemas de manejo

existentes, el uso de suelo y las amenazas con el fin de brindar herramientas para su manejo. También recomendamos un análisis a escala más fina que permita entender la distribución y uso de hábitat dentro de los humedales costeros prioritarios.



**Figura 4.** Discrepancia en la identificación de zonas lodosas en la parte sur de la laguna de Ojo de Liebre: a) imagen obtenida al aplicar la fórmula de humedad de Crist *et al.* (1986) que identifica la zona señalada con valores positivos, b) imagen obtenida al aplicar la fórmula de humedad de Huang *et al.* (2002) que identifica la zona señalada con valores negativos, c) imagen de Google Earth.

#### Agradecimientos

Agradecemos al sistema de becas CONACyT por la beca de doctorado otorgada a la primera autora (beca 32064), con la cual fue posible realizar este trabajo y continuar con aspectos complementarios. También agradecemos al apoyo económico para visitas a campo por parte del Posgrado del Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías de la Universidad Veracruzana. A la compañía Exportadora de Sal SA de CV por el apoyo logístico brindado. Al personal del laboratorio de aves de la

UABCS por su siempre entusiasta participación en el trabajo de campo. A Pronatura Noroeste y a la División de Conservación de Hábitat de Aves del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de EUA por financiar diferentes proyectos, en cuyos datos se apoyó este trabajo a través del North American Wetlands Conservation Act, en especial a E.C. Murphy, coordinadora del Programa México. Agradecemos a los revisores de este trabajo por sus aportaciones.

#### Literatura citada

- Amador, E., R. Mendoza-Salgado y J.A. de Anda-Montañez. 2006. Estructura de la avifauna durante el periodo invierno-primavera en el Estero Rancho Bueno, BCS, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77:251-259.
- AOU (American Ornithologists' Union). 1998. Check list of North American birds. Allen Press. Lawrence, Kansas, EUA.
- Arce, V.N. 2011. Migración e invernación del playero rojizo del Pacífico (*Calidris canutus roselaari*) en Guerrero Negro, Baja California Sur, México. Tesis de maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, México.
- Brown, S., C. Hickey y B. Harrington (eds.). 2001. United States Shorebird Conservation Plan. 2a. ed. Manomet Center for Conservation Sciences. Manomet, Massachusetts, EUA.
- Burger, J., L. Niles y K. Clark. 1997. Importance of beach, mudflat, and marsh habitats to migrant shorebirds on Delaware Bay. *Biological Conservation* 79(2-3):283-292.
- Carmona, R. 2007. Dinámica poblacional y uso de hábitat de las aves playeras en la Ensenada de La Paz, como componente del corredor migratorio del Pacífico. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California, México.
- Carmona, R. y G. Danemann. 1998. Distribución espaciotemporal de aves en la Salina de Guerrero Negro, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 24: 389-408.

- Carmona, R., D. Galindo y L. Sauma. 2003. New and noteworthy shorebird records from south Baja California Peninsula, México. *Wader Study Group Bulletin* 101/102:62-66.
- Carmona, R., A. Hernández-Álvarez y G. Danemann. 2011a. Estado actual de las investigaciones sobre aves playeras en México. *Oceánides* 26(2):47-57.
- Carmona, R., N. Arce, V. Ayala-Pérez y G.D. Danemann. 2011b. Seasonal abundance of shorebirds at the Guerrero Negro wetland complex, Baja California, México. *Wader Study Group Bulletin* 118(1):40-48.
- Chen, A., G. Leptoukh, S. Kempler y L. Di. 2008. Visualization of NASA Earth Science data in Google Earth. *Geoinformatics, Proceedings of the SPIE* 7143:29-42.
- Colwell, M. 2010. *Shorebird ecology, conservation and management*. University of California Press. Los Angeles, California, EUA.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (en línea). 2012. Portal de geoinformación. México, DF. <[www.conabio.gob.mx/informacion/gis/](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/)> (consultado 17 de noviembre de 2011).
- Crist, E.P., R. Laurin y R.C. Cicone. 1986. Vegetation and soils information contained in transformed thematic mapper data. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Zurich, Suiza* 2:1465-1470.
- Cupul-Magaña, G. 1999. La Laguna El Quelele, Nayarit, México, como hábitat de aves acuáticas. *Revista Ciencia y Mar* 3(8):21-28.
- Danemann, G. y R. Carmona. 1993. Observations on esteros El Coyote and La Bocana, Baja California Sur, México, in September 1991. *Western Birds* 24:263-266.
- Danemann, G.D., R. Carmona y G. Fernández. 2002. Migratory shorebirds in the Guerrero Negro saltworks, Baja California Sur, México. *Water Study Group Bulletin* 97:36-41.
- Davidson, N.C., D.A. Stroud, P.I. Rothwell y M.W. Pienkowski. 1998. Towards a flyway conservation strategy for waders. *International Wader Studies* 10:24-38.
- Donaldson, G., C. Hyslop, G. Morrison, L. Dickson e I. Davidson (eds.). 2000. *Shorebird Conservation Plan*. Canadian Wildlife Service. Ottawa, Ontario, Canadá.
- Eastman, J.R. 2012. *IDRISI Selva Manual*. Version 17. Clark University. Worcester, Massachusetts, EUA.
- Farina, A. 2006. *Principles and methods in landscape ecology. Toward a science of landscape*. Landscape Series. Vol. 3. Springer. Dordrecht, Holanda.
- Farmer, A.H. y A.H. Parent. 1997. Effects of the landscape on shorebird movements at spring migration stopovers. *The Condor* 99:698-707.
- Fleischner, T. y R. Gates. 2009. Shorebird use of Estero Santa Cruz, Sonora, México: abundance, idiversity and conservation implications. *Waterbirds* 32(1):36-43.
- Fonseca, M. y J. Fisher. 1986. A comparison of canopy friction and sediment movement between four species of seagrass with reference to their ecology and restoration. *Marine Ecology Progress Series* 29:15-22.
- Foody, G.M., G. Palubinskas, R.M. Lucas, P.J. Curran y M. Honzak. 1996. Identifying terrestrial carbon sinks: clasification of successional stages in regenerating tropical forest from Landsat TM data. *Remote Sensing Environment* 55:205-216.
- Frazier, P.S. y K.J. Page. 2000. Water body detection and delineation with Landsat TM data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66(12):1461-1467.
- García, E. y CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (en línea). 1998. "Climas" (Clasificación de Koppen modificada por García). Escala 1:1,000,000. México, DF. <[www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/climalmgw.xml?\\_httpcache=yes&\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsly\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/climalmgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsly_indent=no)> (consultado 3 de noviembre de 2011).
- González, G.S. 1996. Aves playeras migratorias del Estero de Punta Banda, Baja California, a través de un ciclo anual. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California, México.
- Goss-Custard, J.D. y M.G. Yates. 1992. Towards predicting the effect of salt-marsh reclamation on feeding bird numbers on the Wash. *Journal of Applied Ecology* 29:330-340.
- Granadeiro, J.P., C.D. Santos, M.P. Dias y J.M. Palmeirim. 2007. Environmental factors drive habitat partitioning in birds feeding in intertidal flats: implications for conservation. *Hydrobiologia* 587:291-302.
- Grant, J. 1984. Sediment microtopography and shorebird foraging. *Marine Ecology-Progress Series*. 19:293-296.
- Gunnels, C. (en línea). 1999. Survey and home range analyses of wintering shorebirds using the Lanark Reef Shorebird Complex, Franklin Co., Florida. Tesis de maestría, West Virginia University. Morgantown, West Virginia, EUA. <<https://eidr.wvu.edu/eidr/documentdata.eIDR?documentid=714>> (consultado 30 de septiembre de 2012).

- Harrington, B.A. 1993. A coastal, aerial winter shorebird survey on the Sonora and Sinaloa coasts of Mexico, January 1992. Wader Study Group Bulletin 67:44-49.
- He, H.S., B.E. DeZonia y D.J. Mladenoff. 2000. An aggregation index (AI) to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape Ecology* 15: 591-601.
- Hernández, M.A. 2006. Estudiando las aves playeras. Pp. 19-26. *In*: L.O. Bala (ed.). Humedales de la península Valdés y aves playeras migratorias. Una síntesis de procesos biológicos y ecológicos con fines conservacionistas. Publicación del CENPAT. Puerto Madryn, Argentina.
- Hernández, V.S. 2005. Aves estuarinas de la costa de Jalisco, México: análisis de la comunidad, reproducción e identificación de áreas de importancia para la conservación de las aves. Tesis doctoral, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, Baja California Sur, México.
- Howard, R. 2003. Landscape associations of birds during migratory stopover. Tesis doctoral, University of Illinois at Urbana-Champaign. Champaign-Urbana, Illinois, EUA.
- Howell, S.N.G. y S. Webb. 1995. A Guide to the birds of México and Northern Central América. Oxford University Press. New York, EUA.
- Huang, Ch., L. Yang, C. Homer, B. Wylie, J. Vogelmann y T. DeFelicis (en línea). 2001. At satellite reflectance: a first order normalization of Landsat 7 ETM+ images. USGS White papers. <[landcover.usgs.gov/pdf/huang2.pdf](http://landcover.usgs.gov/pdf/huang2.pdf)> (consultado 5 de agosto de 2012).
- Huang, Ch., B. Wylie, L. Yang, C. Homer y G. Zylstra (en línea). 2002. Derivation of a Tasseled Cap transformation based on Landsat 7 At-Satellite Reflectance. USGS White papers. <[landcover.usgs.gov/pdf/tasseled.pdf](http://landcover.usgs.gov/pdf/tasseled.pdf)> (consultado 5 de agosto de 2012).
- Jarvis, A., H.I. Reuter, A. Nelson y E. Guevara (en línea). 2008. Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT). EUA. <[srtm.csi.cgiar.org](http://srtm.csi.cgiar.org)> (consultado 16 de noviembre de 2010).
- Kaufman, Y.J. 1989. The atmospheric effect on remote sensing and its corrections. Pp. 336-428. *In*: G. Asrar (ed.). Theory and applications of optical remote sensing. John Wiley & Sons. New York, EUA.
- Kusch, K. y F. Huettmann. 2006. Using predictive modelling to investigate large scale shorebird migration in the Russian Far East for Great Knot *Calidris tenuirostris*, Red Knot *Calidris canutus* and Bar-tailed Godwit *Limosa lapponica*. Pp. 345. *In*: G.C. Boere, C.A. Galbraith y D.A. Stroud (eds.). Waterbirds around the world. The Stationery Office. Edimburgh, Reino Unido.
- Leyrer, J., B. Spaans, M. Camara y T. Piersma. 2006. Small home ranges and high site fidelity in red knots (*Calidris c. canutus*) wintering on the Banc d'Arguin, Mauritania. *Journal of Ornithology*. 147:376-384.
- Li, X., H.S. He, R. Bu, Q. Wen, Y. Chang, Y. Hu y Y. Li. 2005. The adequacy of different landscape metrics for various landscape patterns. *Pattern recognition* 38:2626-2638.
- Lobera, A.P. 2007. Distribución espacial y temporal de aves marinas y costeras en Isla San José, Golfo de California, México. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México.
- Maimone-Celorio, M.R. y E. Mellink. 2003. Shorebirds and benthic fauna of tidal mudflats in Estero de Punta Banda, Baja California, México. *Bulletin of Southern California Academy of Sciences* 102(1):26-38.
- Massey, B. y E. Palacios. 1994. Avifauna of the wetlands of Baja California, México: current status. *Studies in Avian Biology* 15:45-57.
- McGarigal, K., S.A. Cushman, M.C. Neel y E. Ene (en línea). 2002. Fragstats: spatial pattern analysis program for categorical maps. University of Massachusetts. Amherst, EUA. <[www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html](http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html)> (consultado 8 de enero de 2012).
- Mellink, E., E. Palacios y S. González. 1997. Non-breeding waterbirds of the delta of the Río Colorado, México. *Journal of Field Ornithology* 68(1):113-123.
- Mendoza, L. 2010. Distribución especial y temporal de aves playeras en Laguna San Ignacio, Baja California Sur, México. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human well-being: wetlands and water. Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC, EUA.
- Mittermeier, R. y C. Goettsch. 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. Pp. 63-73. *In*: J. Sarukhán y R. Dirzo (compiladores). México ante los retos de la biodiversidad. CONABIO. México, DF.
- Molina-Tovar, D. 2009. Aves de humedales de la costa sur de Nayarit. Tesis de licenciatura, Tecnológico de Bahía de Banderas. Bahía de Banderas, Nayarit, México.
- Morrison, R.I.G. y J.P. Myers. 1987. Wader migration systems in the New World. Wader Study Group



- Bulletin 49 (supplement)/IWRB Special Publications 7:57-69.
- Morrison, R.I.G., R.K. Ross y S. Torres. 1992. Aerial surveys of nearctic shorebirds wintering in Mexico: some preliminary results. Progress notes. Canadian Wildlife Service, Canadian Ministry of the Environment. Gatineau, Quebec, Canadá.
- Morrison, R.I.G., R.K. Ross y J. Guzman. 1994. Aerial surveys of Nearctic shore birds wintering in Mexico: preliminary results of surveys on the southern half of the Pacific coast, Chiapas to Sinaloa. Canadian Wildlife Service Program 209:1-21.
- Morrison, R.I.G., B.J. McCaffery, R.E. Gill, S.K. Skagen, S.L. Jones, G.W. Page, C.L. Gratto-Trevor y B.A. Andres. 2006. Population estimates of North American shorebirds, 2006. Wader Study Group Bulletin 111:67-85.
- Mumby, P. y C. Clark. 2000. Radiometric correction of satellite and airborne imagery. Pp. 109-120. In: A.J. Edwards (ed.). Remote sensing handbook for tropical coastal management. Coastal Management Sourcebooks 3. UNESCO. Paris, Francia.
- Myers, J.P., R.I.G. Morrison, P.Z. Antas, B.A. Harrington, T.E. Lovejoy, M. Sallaberry, S.E. Senner y A. Tarak. 1987. Conservation strategy for migratory species. American Scientist 75:19-26.
- Neira, C., E. Grosholz, L. Levin y R. Blake. 2006. Mechanisms generating modification of benthos following tidal flat invasion by *Spartina* hybrid. Ecological Applications 16(4):1391-1404.
- NIEES (National Institute for Environmental eScience) (en línea). 2007. Google Earth and other geobrowsing tools in the environmental sciences workshop. <[www.niees.ac.uk/events/GoogleEarth/index.shtml](http://www.niees.ac.uk/events/GoogleEarth/index.shtml)> (consultado 3 de septiembre de 2012).
- Ortega, S.L. 2011. Distribución espacial y temporal de aves playeras invernantes en la Reserva de la Biosfera Marismas Nacionales, Nayarit. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Nayarit. Xalisco, Nayarit, México.
- Orth, R., K. Heck y J. Montfrans. 1984. Faunal communities in seagrass beds: a review of the influence of plant structure and prey characteristics on predator-prey relationships. Estuaries 7:339-350.
- Ortiz, B. y A. Ortiz. 1980. Edafología. 3a. ed. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Estado de México, México.
- O'Reilly, K.M. y J.C. Wingfield. 1995. Spring and autumn migration in arctic shorebirds: same distance, different strategies. American Zoologist 35:222-233.
- Page, G.W. y E. Palacios. 1993. Winter shorebird numbers in wetlands along the west coast of Baja, California. Report of PRBO and CICESE. Pacific Flyway Project. Stinson Beach, California, EUA.
- Page, G.W., E. Palacios, L. Alfaro, S. González, L.E. Stenzel y M. Jungers. 1997. Numbers of wintering shorebirds in coastal wetlands of Baja California, México. Journal of Field Ornithology 68:562-574.
- Palacios, E. y L. Alfaro. 1991. Breeding birds of Laguna Figueroa and La Pinta Pond, Baja California, México. Western Birds 22:27-32.
- Rouse, J.W., Jr., R.H. Haas, D.W. Deering, J.A. Schell y J.C. Harlan. 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Green Wave effect) of natural vegetation. NASA/GSFC Type III Final Report. Greenbelt, Madison, EUA.
- Ruiz-Campos, G. y M. Rodríguez-Meraz. 1993. Notas ecológicas sobre la avifauna de Laguna El Rosario, BC. México. Southwestern Naturalist 38(1):59-64.
- Ruiz-Campos, G., E. Palacios, J.A. Castillo-Guerrero, S. González-Guzmán y E. Batche-González. 2005. Composición espacial y temporal de la avifauna de humedales pequeños costeros y hábitat adyacentes en el noroeste de Baja California, México. Ciencias Marinas 31(003):553-576.
- Salem, B.B. 2003. Application of GIS to biodiversity monitoring. Journal of Arid Environments 54:91-114.
- Schnack, J.A. 2006. Why wetlands? Oecología Brasiliensis 10(2):127-134.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2008. Estrategia para la conservación y manejo de las aves playeras y sus hábitat en México. SEMARNAT. México, DF.
- Singh, A. 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. International Journal of Remote Sensing 10(6):989-1003.
- Soto-Montoya, E., R. Carmona, M. Gómez, V. Ayala-Pérez, N. Arce y G.D. Danemann. 2009. Over-summering and migrant Red Knots at Golfo de Santa Clara, Gulf of California, México. Wader Study Group Bulletin 116(3):191-194.
- Thomson, D.A., L.T. Findley y A.N. Kerstitch. 1979. Reef fishes of the Sea of Cortez. John Wiley and Sons. New York, EUA.
- Tsipoura, N. y J. Burger. 1999. Shorebird diet during spring migration stopover on Delaware Bay. Condor 101:635-644.
- Ulloa, R., J. Torre, L. Bourillon, A. Gondor y N. Alcantar. 2006. Planeación ecorregional para la conservación marina: Golfo de California y costa occidental de Baja California Sur. Informe final a

- The Nature Conservancy. Comunidad y Biodiversidad, AC. Guaymas, Sonora, México.
- Vogelmann, J.E., D. Helder, R. Morfitt, M.J. Choate, J.W. Merchant y H. Bulley. 2001. Effects of Landsat 5 Thematic Mapper and Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus radiometric and geometric calibrations and corrections on landscape characterization. *Remote Sensing of Environment* 78:55-70.
- Warnock, N. 1996. Local and regional differences in hábitat utilization by Dunlins *Calidris alpina* as revealed by radio-telemetry: conservation implications. *International Wader Studies* 8:35-38.
- Warnock, S. y J. Takekawa. 1995. Habitat preferences of wintering shorebirds in a temporally changing environment: western sandpipers in the San Francisco Bay Estuary. *The Auk* 112(4):920-930.
- Zárate-Ovando, B. 2007. Ecología y conservación de las aves del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, BCS, México. Tesis doctoral, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, Baja California Sur, México.
- Zárate-Ovando, B., E. Palacios, H. Reyes-Bonilla, E. Amador y G. Saad. 2006. Waterbirds of the lagoon complex Magdalena Bay-Almejas, Baja California Sur, México. *Journal of the Waterbird Society* 29(3):350-364.

*Recibido: 8 de junio de 2012; Revisión aceptada: 18 de febrero de 2013.*  
*Editor asociado: Horacio Jesús de la Cueva Salcedo.*



**Anexo 1.** Sistemas de humedales potenciales para la alimentación de aves playeras migratorias en el noroeste de México.

Estado	Sistema	Importancia*	Subsistema	Ubicación
Sonora/BC	1. Alto Golfo	Internacional <sup>1,2,3</sup>	1.1. Zona intermareal del Alto Golfo en BC; humedales de Salinas de Ometepec.	Sobre la línea de costa de 31°45'29"N, 114°49'09"O a 31°09'22"N, 114°53'22"O
			1.2. Zona intermareal del Alto Golfo en Sonora; humedales y desembocadura del Río Colorado; Ciénega de Santa Clara.	Sobre la línea de costa de 31°45'29"N, 114°49'09"O a 31°40'16"N, 114°28'18"O
			1.3. Humedales de la Laguna Salada hasta el inicio de Salinas de Ometepec.	Sobre el contorno de la Laguna Salada 32°31'40"N, 115°41'56"O
			1.4. Zona intermareal de la Isla Montague.	31°41'45"N, 114°41'45"O
			1.5. Zona lodosa del islote.	31°44'49"N, 114°37'38"O
Sonora	2. Bahía Adahir	Poco importante <sup>2,3</sup>		31°36'55"N, 113°55'46"O
Sonora	3. Estero Marúa, La Pinta, Salina	Poco importante <sup>3</sup>		De 31°35'19"N, 113°51'52"O a 31°02'04"N, 113°04'31"O
Sonora	4. Desembocadura de Río Concepción	Sin información		30°31'41"N, 112°58'50"O
Sonora	5. Estero Los Tanques	Sin información		30°26'35"N, 112°52'51"O
Sonora	6. Puerto Lobos	Sin información		30°16'17"N, 112°51'23"O
Sonora	7. El Sargento	Sin información		29°19'18"N, 112°20'49"O
Sonora	8. Canal de Infiernillo (zonas lodosas a ambos lados del canal)	Sin información		De 29°13'08"N, 112°17'01"O a 28°57'50"N, 112°08'27"O
Sonora	9. Bahía Kino (Esteros Santa Cruz)	Poco importante <sup>18,3</sup>		28°46'49"N, 111°53'55"O
Sonora	10. Tastiota	Poco importante <sup>3</sup>		28°22'02"N, 111°26'55"O
Sonora	11. Bahía de Guaymas y esteros al norte (El Soldado y Miramar)	Poco importante <sup>3,4</sup>		27°58'59"N, 110°50'39"O
Sonora	12. Guásimas/Yávaros	Conjuntando Estero Tobari y Estero Lobos podrían ser catalogados como de Importancia Internacional <sup>3</sup> . Santa Bárbara podría catalogarse como de Importancia Regional <sup>4</sup>	12.1. Guásimas, Lobos, Hivulai, Bahía de Tobari.	De 27°53'50"N, 110°38'39"O a 26°59'22"N, 109°53'49"O
			12.2. Barra Tobari y orilla del Estero Tobari, Santa Bárbara, Huatabampo, Yávaros.	De 26°59'22"N, 109°53'49"O, a 26°36'34"N, 109°21'53"O

Estado	Sistema	Importancia*	Subsistema	Ubicación
Sonora/Sinaloa	13. Agiabampo/Pabellones	Agiabampo-Jitzamuri potencialmente de Importancia Regional. <sup>3</sup> De Boca Las Piedras a Punta Colorada podría ser de Importancia Internacional. <sup>3</sup> Santa María de Importancia Hemisférica. <sup>4,5</sup> Navachiste podría ser de Importancia Internacional. <sup>4</sup> Ensenada Pabellones de Importancia Internacional. <sup>4,5</sup> Ceuta de Importancia Regional. <sup>5</sup>	13.1 Agiabampo Jitzamuri, Bacoheirus, el Aguajito, desembocadura del Río Fuerte.	De 26°29'11"N, 109°15'46"O, a 25°49'16"N, 109°24'39"O
			13.2 Las Piedras, Lechuguilla, Santa María, Topolobampo, Navachiste	De 25°49'16"N, 109°24'39"O a 25°14'47"N, 108°26'12"O
			13.3 Playa Colorada, La Reforma, Saliaca, Punta Colorada.	De 25°14'47"N, 108°26'12"O a 24°42'05"N, 107°59'22"O
			13.4 Altata, Pabellones.	De 24°42'05"N, 107°59'22"O a 24°16'41"N, 107°27'18"O
			13.5 La Guadalupeana, Quevedo (Playa Ceuta).	De 24°16'41"N, 107°27'18"O a 23°51'06"N, 106°54'04"O
Sinaloa/Nayarit	14. Río Dimas/La Tovar	Huizache Caimanero Importancia Regional <sup>4,5</sup> , Marismas Nacionales Importancia Internacional <sup>6</sup>	14.1. Boca del Río Dimas, Barras de Piaxtla, El Pozole, Estero El Jicote, Marisma, Laguna en Mármol de Salcido, desembocadura del Río San Pablo, Laguna Nuevo Mazatlán.	De 23°42'13"N, 106°48'25"O a 23°19'01"N, 106°28'31"O
			14.2. Laguna de Urias.	De 23°17'08"N, 106°28'09"O a 23°08'11"N, 106°20'07"O
			14.3. Río Barrón, lagunas El Caimanero, El Puyequé y Los Cerritos.	De 23°08'11"N, 106°20'07"O a 22°47'18"N, 105°57'14"O
			14.4. Laguna Agua Grande y su canal, lagunas en 22°48'27"N, 105°53'19"O y 22°46'19"N, 105°45'43"O, La Polca, Puerta de México, Las Cañas, estero El Flojo.	De 22°47'18"N, 105°57'14"O a el canal del Estero Teacapan.
			14.5. Borde oriente de Laguna Agua Grande.	De 22°43'20"N, 105°41'04"O a 22°40'46"N, 105°43'01"O
			14.6. Zonas lodosas al oriente del canal entre Agua Grande y Cuenca Agua Brava: Chahuinchihua, Salinera Garzas, Chumbeño.	De 22°40'46"N, 105°43'01"O a 22°01'39"N 105°26'53"O
			14.7. Zonas lodosas al occidente del canal entre Agua Grande y Cuenca Agua Brava: Llanura El Novillero, delimitada hacia el norte por el canal del estero Teacapan y hacia el sur por el canal que comunica a la laguna de Agua Brava con el mar.	En línea de costa, desde 105°45'28"O, 22°32'16"N hasta 105°38'50"O, 22°11'12"N

Estado	Sistema	Importancia*	Subsistema	Ubicación
			Sistema 14.8 Las Cañadas (Llanura de Las Haciendas) y Llanura fluvio-deltáica del Río San Pedro, Laguna Toluca, SE de Laguna de Mezcaltitán.	Sobre la línea de costa de 22°11'00"N, 105°38'46"O a 21°43'30"N, 105°29'22"O
			14.9. La Tovar	Sobre la línea de costa de 21°43'30"N, 105°29'22"O a 21°31'22"N, 105°13'30"O
Nayarit	15. Esteros en: El Limoncito y en 21°17'13"N, 105°13'01"O; 21°12'14"N, 105°12'26"O; Chacalilla, Chacala.	Sin información		De 21°23'50"N, 105°12'52"O a 21°09'36"N, 105°13'18"O
Nayarit	16. Boca Naranjos, esteros: Paraíso Escondido, Punta Raza y El Monteón	Poco importante <sup>24</sup>		De 21°06'49"N, 105°13'43"O a 20°57'39"N, 105°21'16"O
Nayarit	17. Laguna El Quelele a Río Vallarta	El Quelele poco importante <sup>25</sup>		De 20°43'60"N, 105°18'36"O a 20°40'18"N, 105°16'48"O
BC	18. Estero Percebú y Bahía Santa María	Sin información		De 30°47'41"N, 114°42'05"O a 30°45'06"N, 114°41'51"O
BC	19. Estero Punta Banda	Poco importante <sup>7,8,16,19</sup>		31°43'09"N, 116°38'20"O
BC	20. San Quintín y humedales al norte	San Quintín Importancia Regional, <sup>16,20</sup> Humedales pequeños poco importantes. <sup>22</sup>		De 30°58'12"N, 116°16'27"O a 30°25'04"N, 115°57'08"O
BC	21. Laguna El Rosario	Poco importante <sup>23</sup>		30°02'32"N, 115°47'11"O
BC	22. Estero San Luis Gonzaga	Sin información		29°48'14"N, 114°23'55"O
BC	23. Zona 0	Sin información		29°10'45"N, 113°38'41"O
BC	24. Bahía de Los Ángeles	Sin información		De 29°02'25"N, 113°32'30"O a 28°53'16"N, 113°29'10"O
BC	25. Bahía de Las Animas	Sin información		28°49'39"N, 113°22'01"O; 28°48'09"N, 113°18'40"O
BC	26. Isla Ángel de la Guarda	Sin información		29°21'33"N, 113°22'18"O
BC/BCS	27. Laguna Manuela, Guerrero Negro, Ojo de Liebre, Exportadora de Sal, Estero El Borracho	Laguna Manuela y Estero, sin información. En su conjunto Guerrero Negro, Ojo de Liebre y Exportadora de Sal de Importancia Hemisférica. <sup>3,9,16,20</sup>		De 28°15'05"N, 114°04'24"O a 27°48'49"N, 114°22'33"O
BCS	28. Estero La Bocana	Por sí misma Poco importante, <sup>10</sup> pero catalogada como de Importancia Internacional en conjunto con San Ignacio y El Coyote		26°46'05"N, 113°39'26"O
BCS	29. Estero el Coyote, Laguna de San Ignacio, Estero El Dátil	San Ignacio-El Coyote Importancia Internacional, <sup>3,10,11,20,21</sup> El Dátil, sin información.		De 26°49'27"N, 113°23'38"O a 26°28'47"N, 112°50'21"O
BCS	30. Delta del Río Mulegé	Sin información		26°53'58"N, 111°57'26"O
BCS	31. Bahía Concepción	Sin información		

Estado	Sistema	Importancia*	Subsistema	Ubicación
BCS	32. Zona 1	Sin información		26°23'40"N, 111°27'22"O; 26°21'56"N, 111°26'09"O
BCS	33. Zona 2	Sin información		25°34'01"N, 111°09'12"O
BCS	34. Zona 3	Sin información		25°16'31"N, 110°56'26"O; 25°15'39"N, 110°56'47"O
BCS	35. Zona 4	Sin información		26°17'00"N, 112°34'26"O; 26°18'50"N, 112°36'53"O
BCS	36. Zona 5	Sin información		26°05'10"N, 112°14'34"O
BCS	37. Zona 6	Sin información		25°55'59"N, 112°09'46"O
BCS	38. Bahía Magdalena-Almejas	En conjunto, catalogada como de Importancia Regional. <sup>12,13,16,17,20</sup>	38.1. Zonas lodosas de la península aledañas a Las Tinajas, Las Ánimas y López Mateos.  38.2. Zonas lodosas peninsulares de Bahía Magdalena y Bahía Almejas.  38.3. Extremo sudoriental de Bahía Almejas.  38.4 Zonas lodosas de islas e islotes de Las Ánimas, Las Tinajas, La Cama, Bahía Magdalena y Bahía Almejas.	Sobre la línea de costa de 25°50'49"N, 112°08'13"O a 25°01'06"N, 112°07'53"O  Sobre la línea de costa de 25°01'06"N, 112°07'53"O a 24°24'39"N, 111°31'51"O  Sobre la línea de costa de 24°24'39"N, 111°31'51"O a 24°10'17"N, 111°08'57"O  Islas e Islotes del sistema lagunar de 25°41'00"N, 112°05'58"O a 24°19'39"N, 111°26'53"O
BCS	39. Zonas pequeñas en Isla San José y costa de BCS frente a esta isla.	Isla San José poco importante. <sup>14</sup>		De 24°59'46"N, 110°45'32"O a 24°52'23"N, 110°34'23"O
BCS	40. Ensenada de La Paz, sureste de la Bahía de La Paz e Isla Espíritu Santo	Ensenada de La Paz de Importancia Regional. <sup>15</sup> Espíritu Santo sin información.		De 24°18'24"N, 110°19'53"O a 24°06'15"N, 110°23'13"O
BCS	41. Zona 7	Sin información		23°41'06"N, 110°33'39"O

\*Grado de importancia de los sistemas con base en la RHRAP: Internacional.-Al menos 100,000 aves playeras/año. Regional.-Al menos 20,000 aves playeras/año.

1) Mellink *et al.* 1997, 2) Soto Motoya *et al.* 2009, 3) Morrison *et al.* 1992, 4) Harrington 1993, 5) Morrison *et al.* 1994, 6) Ortega 2011, 7) Palacios y Alfaro 1991, 8) González 1996, 9) Carmona *et al.* 2011, 10) Danemann y Carmona 1993, 11) Mendoza 2010, 12) Zárate 2007, 13) Zárate *et al.* 2006, 14) Lobera 2007, 15) Carmona 2007, 16) Page *et al.* 1997, 17) Amador *et al.* 2006, 18) Fleischner y Gates 2009, 19) Maimone-Celorio y Mellink 2003, 20) Page y Palacios, 1993, 21) Massey y Palacios 1994, 22) Ruíz-Campos *et al.* 2005, 23) Ruíz-Campos y Rodríguez-Meraz 1993, 24) Molina-Tovar 2009, 25) Cupul-Magaña 1999.

**Anexo 2.** Métricas de paisaje de los sistemas y subsistemas de humedales potenciales para la alimentación de aves playeras migratorias en el noroeste de México. Los acrónimos de la métrica utilizada son con base en el Cuadro 1.

Sistema y subsistema	CA (ha)	NP	Área MN (ha)	Área DE	Área CV	CONNECT (%)	AI (%)
2. Adair	1,052	972	10.8	227.5	2,105.8	14	91
3. Marua	6,810	692	10.8	176.3	1,628.6	14	91
4. Río Concepción	304	194	1.6	13.9	889.2	95	80
5. Los Tanques	314	41	7.7	39.8	519.5	60	89
6. Puerto Lobos	29	9	3.3	8.5	259.2	100	70
7. El Sargento	354	296	1.2	9.8	822.8	69	65
8. Infiernillo	235	561	0.4	1.9	442.9	15	48
9. Kino	1,407	1,120	1.3	11.8	942.4	25	68
10. Tastiota	1,065	570	1.9	31	1,658.6	31	78
11. Guaymas	896	188	0.5	3.7	769.2	23	50
15. Limoncito	240	587	0.4	2.6	638.1	36	46
16. Naranjos	74	356	0.2	0.4	202.4	38	29
17. Quelele	27	183	0.1	0.1	76	76	18
18. Percebu	285	72	4	14.6	368.2	78	76
19. Punta Banda	245	299	0.8	5.4	661.6	78	62
20. San Quintín	1,436	2,900	0.5	3.0	609.2	13	53
21. Rosario	39	38	1.0	2.5	239.9	100	68
22. San Luis Gonzaga	123	11	11.2	34.6	310.7	100	90
23. z291045	60	37	1.6	6.6	404.4	100	76
24. B Los Angeles	107	182	0.6	2.9	495.8	37	59
25. B Animas	192	85	2.3	11.6	510.7	94	77
26. I Angel de la Guarda	50	18	2.8	10.2	366.3	100	75
27. G.N. Ojo de liebre	12,752	10,976	1.2	18.9	1,627.9	4	65
28. Bocana	502	288	1.7	11.1	635.7	49	76
29. Coyote-L.S.I.	5,175	5,828	0.9	6.4	718.8	6	61
30. Mulegé	56	90	0.6	1.1	177.3	97	51
31. B Concepción	50	139	0.4	1.3	350.3	88	44
32. z1	29	55	0.5	1.5	277.2	100	50
33. z2	26	60	0.4	1.5	339.3	100	53
34. z3	17	41	0.4	1.0	243.9	100	48
35. z4	18	80	0.2	0.4	178.1	66	33
36. z5	44	141	0.3	0.6	197.4	77	37
37. z6	2	7	0.3	0.2	90.7	100	41
39. I. Sn José	166	253	0.7	2.1	323.9	35	54
40. La Paz	636	1,060	0.6	1.8	293	17	53
41. z7	276	1,139	0.2	0.4	166.1	20	28
Subsist. 1.1	19,225	3,823	5	236.4	4,700	13	89
Subsist. 1.2	36,715	38,277	1	43.6	4,548.6	3	71
Subsist. 1.3	4,599	8,472	0.5	7.4	1,361.1	13	51
Subsist. 1.4	6,492	506	12.8	279.9	2,181.5	49	92
Subsist. 1.5	1,181	5	236.1	471.1	199.5	100	96
Subsist. 12.1	37,353	22,862	1.6	94.8	5,799.5	3	75
Subsist. 12.2	11,606	12,047	1	22.1	2,289.5	7	66
Subsist. 13.1	8,647	13,296	0.7	5.3	818.4	5	56
Subsist. 13.2	21,106	25,440	0.8	14	1,691	3	62
Subsist. 13.3	34,043	19,800	1.7	69.4	4,036.9	4	76
Subsist. 13.4	31,791	17,562	1.8	86.2	4,761	5	73
Subsist. 14.1	1,152	1,812	0.6	4	624.1	20	51
Subsist. 14.2	948	2,291	0.4	2	486.7	34	41
Subsist. 14.3	3,943	7,568	0.5	14	2,684.2	12	57

<b>Sistema y subsistema</b>	<b>CA (ha)</b>	<b>NP</b>	<b>Área MN (ha)</b>	<b>Área DE</b>	<b>Área CV</b>	<b>CONNECT (%)</b>	<b>AI (%)</b>
Subsist. 14.4	4,183	8,057	0.5	8.3	1,608.1	13	51
Subsist. 14.5	1,483	391	3.8	59.4	1,567	67	77
Subsist. 14.6	17,708	23,602	0.8	16.8	2,241.8	5	56
Subsist. 14.7	2,057	2,959	0.7	4.6	657.9	19	52
Subsist. 14.8	16,669	24,024	0.7	17	2,452	7	54
Subsist. 14.9	7,260	9,428	0.8	11.7	1,516.8	15	57
Subsist. 38.1	1,833	3,171	0.6	4.3	745.3	12	52
Subsist. 38.2	1,615	5,829	0.3	1.5	531	8	34
Subsist. 38.3	332	1,037	0.3	1.1	328.5	23	36
Subsist. 38.4	1,239	4,237	0.3	1	350	7	37