



**Cobertura y Distribución de las Especies de
Mangle en el Humedal Nacional Térraba-Sierpe, Costa Rica**
Coverage and Distribution of the Mangrove
Species in the Térraba-Sierpe National Wetland, Costa Rica

Jéssica Francini Acuña-Piedra¹; Adolfo Quesada-Román² & Christian Vargas-Bolaños³

¹Proyecto Humedales SINAC-GEP-PUND-MINAE, Oficinas SINAC-INBIO, Santo Domingo, Heredia, Costa Rica.

²University of Geneva, Climate Change Impacts and Risks in the Anthropocene,
Institute for Environmental Sciences, 66 Boulevard Carl-Vogt, 1205 Geneva, Switzerland.

³Centro Nacional de Alta Tecnología, Laboratorio PRIAS,
1.3km al norte de la Embajada Estados Unidos, Pavas, San José, Costa Rica.
E-mails: fran1993piedra@gmail.com; adolfo.quesada@unige.ch; cvargas@cenat.ac.cr

Recebido em 22/01/2018 Aprobado em: 07/03/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_1_120_129

Resumen

El Humedal Nacional Térraba-Sierpe se localiza el sureste de Costa Rica, tiene una extensión aproximada de 14 800 ha de mangle y para este trabajo se realizó una clasificación espectral con una imagen satelital Rapid Eye del año 2012 para determinar la distribución de las especies de mangle más abundantes: *Rhizophora racemosa*, *Pelliciera rhizophorae*, la asociación entre la especies *R. racemosa* y *P. rhizophorae*, y *Rhizophora mangle*; además de otras especies del humedal presentes como *Acrostichum aureum*. También, se realizó un análisis de las características geomorfológicas y ecológicas que favorecen a las especies dominantes en el HNTS y cómo los cambios en el uso de la tierra en las zonas adyacentes a esta área silvestre protegida generan alteraciones en este delicado ecosistema de gran importancia internacional.

Palabras-clave: Manglares; clasificación espectral; humedales; matriz de confusión; cobertura; uso de la tierra; impactos ambientales

Abstract

The Térraba-Sierpe National Wetland is located in southeastern Costa Rica, has an approximate extension of 14 800 ha of mangrove and for this work a spectral classification with a satellite image Rapid Eye of the year 2012 was carried out to determine the distribution of the more abundant mangrove species: *Rhizophora racemosa*, *Pelliciera rhizophorae*, association between the species *R. racemosa* and *P. rhizophorae*, and *Rhizophora mangle*; in addition to other present wetland species as *Acrostichum aureum*. Also, an analysis of the geomorphological and ecological characteristics favoring the dominant species in the HNTS was accomplished and how the changes in the land use in the adjacent zones to this protected wild area generate alterations in this delicate ecosystem of great international importance.

Keywords: mangrove; spectral classification; wetlands; confusion matrix; coverage; land use; environmental impacts

1 Introducción

Los humedales son ecosistemas que se caracterizan por estar constituidos por marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros (Ramsar, 2006).

Entre la vegetación que se pueden encontrar en los humedales, destaca los manglares que son ecosistemas dominados por un grupo de especies vegetales arbóreas que se han adaptado a nivel fisiológico, reproductivo y estructural al agua salobre, lo que les permite colonizar áreas anegadas y sujetas a la influencia de mareas de las costas tropicales y subtropicales protegiendo del oleaje (Mainardi, 1996). Se considera que estos bosques cubren 137.760 km² en las costas tropicales y subtropicales del mundo (Giri *et al.*, 2001).

Para Costa Rica, los manglares ocupan un área de más de 41 000 ha (FAO, 2005), que corresponden a un 0,8% del territorio nacional (Zamora-Trejos & Cortés, 2009), los cuales están distribuidos en la costa del mar Caribe y del océano Pacífico, siendo el Humedal Nacional Térraba Sierpe (HNTS) el más extenso del país con más de 24 000 ha, donde alrededor de 17.732 ha corresponden a vegetación manglarica (Sánchez *et al.*, 2013), con más de 40 especies de árboles, arbustos, lianas, hierbas y palmeras; esta vegetación logra alcanzar alturas entre los 5-25 m (árboles) y entre 1-5 m (arbustos y helechos), con abundantes individuos como *Pelliciera rhizophorae* (mangle piñuela), *Rhizophora mangle* (mangle rojo-gateador), *Rhizophora racemosa* (mangle caballero-rojo), *Acrostichum aureum* (negraforra), así como otras especies menos abundantes, de las cuales se destacan la *Laguncularia racemosa* (mangle mariquita), *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo), *Mora oleifera* (alcornoque), *Avicennia germinans* (mangle negro) (Tomlinson, 1986; Mainardi, 1996).

La diversidad de vegetación en el humedal hace que sea una zona con gran riqueza natural, pero, a la vez, se vuelve un ecosistema complejo en su cobertura boscosa, por lo que se hace difícil la identificación de la vegetación (Lizano *et al.*, 2001). Mediante la clasificación espectral logra determinarse la distribución y comprobar la abundancia de las

especies vegetales, con el objetivo de conocer cómo se encuentran las condiciones del humedal; para este estudio se clasificaron las especies más abundantes en el HNTS, porque los espectros son más fáciles de determinar dentro de la imagen satelital.

2 Materiales y Métodos

2.1 Área de Estudio

El Humedal Nacional Térraba Sierpe se localiza al sureste de Costa Rica específicamente en el cantón de Osa que pertenece a la provincia de Puntarenas en las coordenadas geográficas 8°45'00" - 9°05'00" N y 83°45'00" - 83°15'00" O (Sierra *et al.*, 2007). Tiene una extensión de 24 360,5 ha, sin embargo, el área protegida involucra diferentes tipos de vegetación, por lo que esta investigación solo contempló el mangle, que se estableció mediante la delimitación basada el límite oficial del HNTS y una actualización del área a través de la técnica de fotointerpretación del área de manglar que tiene una extensión aproximada de 14.800 ha. El humedal se compone de seis bocas: Coronado, Brava, Chiquita, Zacate, Guarumal y Sierpe (Figura 1).

2.2 Delimitación del Área de Estudio

Con el propósito de delimitar el área de manglar se utilizó una imagen satelital Rapid Eye del año 2012, suministrada por el Centro de Alta Tecnología (CeNAT), con una resolución espacial de 5 m. Se realizó una fotointerpretación del área de manglar apoyada en el límite oficial del HNTS proporcionada por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), esta delimitación se ejecuta mediante el software ArcGis en el módulo de ArcMap versión 10.3.1, con una digitalización a escala 1:3.000.

2.3 Clasificación Espectral de las Especies de Mangle

A partir del área de estudio definida, se aplicó una clasificación No Supervisada que, según Gutiérrez (2005), consiste en un proceso de agrupación de píxeles con valores digitales similares para todas las bandas y cada una de estas agrupaciones son llamadas clases espectrales, las cuales corresponden a un tipo de cubierta de terreno.

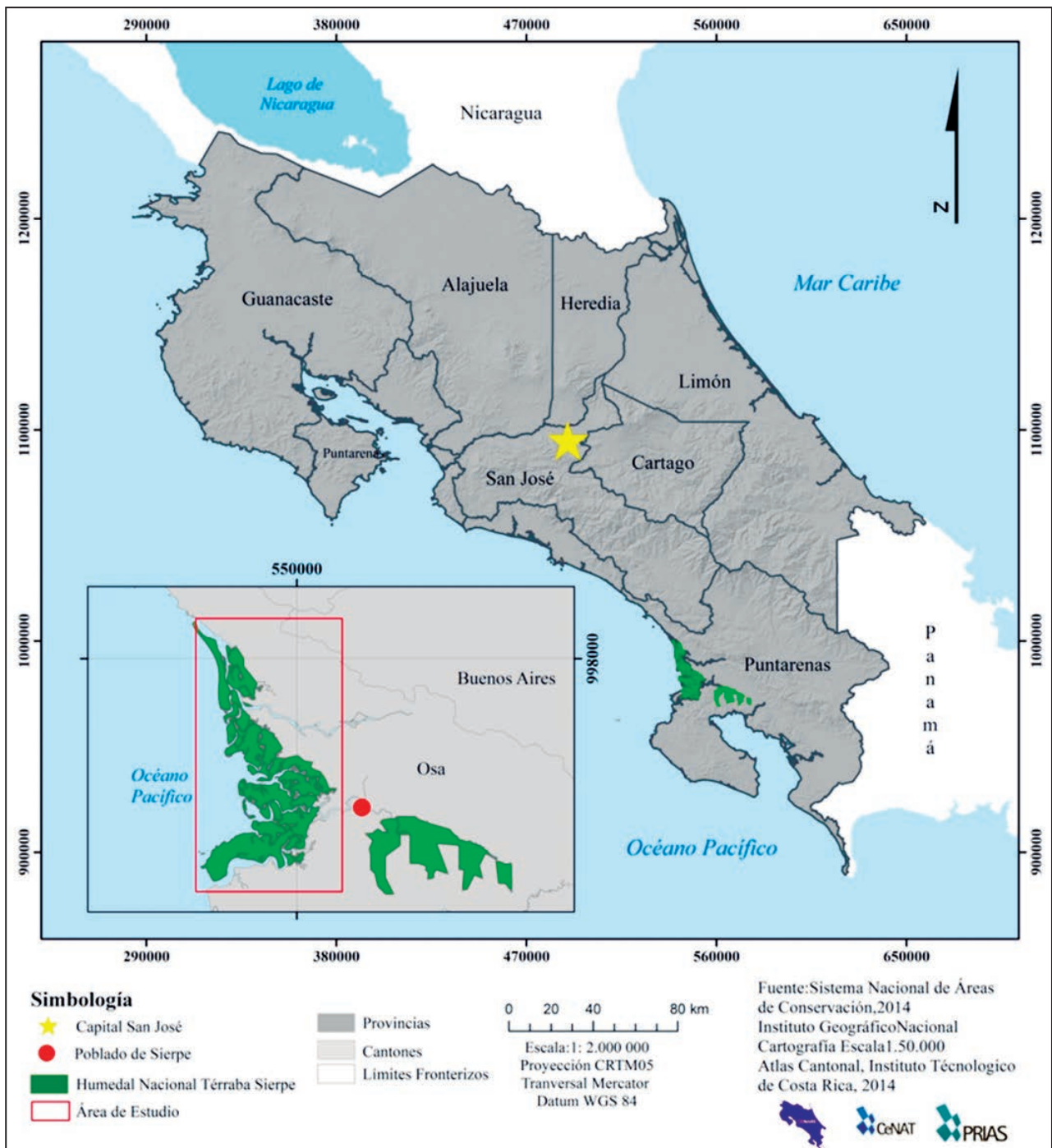


Figura 1 Ubicación geográfica del Humedal Nacional Térraba Sierpe.

Para este estudio se utilizó el software ENVI versión 5.3, aplicando la herramienta *K-means*, en la cual se obtuvieron 10 clases.

Posteriormente, se aplica una clasificación supervisada, la cual consiste según Chuvieco (2010), en seleccionar una signatura espectral basada en la homogeneidad de los espectros de

cada cobertura identificada en la imagen satelital mediante las denominadas áreas de entrenamiento, la cual se apoya en 10 de las 12 clases obtenidas por la clasificación No Supervisada, así como de los puntos de campo donde se usaron específicamente para la toma de muestra de interés de las especies de mangle. Para el caso de esta área de estudio se logró

identificar seis clases apoyados en los resultados de la clasificación No Supervisada, en el cual se utilizó el logaritmo *Spectral Angle Mapper* de ENVI, los resultados obtenidos en este proceso posteriormente de depuran para obtener el producto final.

2.4 Depuración de la Asignatura Espectral de las Especies de Mangle

Al obtener las seis clases entre los resultados de la clasificación no supervisada y supervisada, se debe realizar una depuración de los datos, esto debido a que se presentan un efecto de mezcla entre las clases dando como resultado un efecto de combinación, por lo que se debe eliminar aquellos píxeles que sean inferiores a 25 m, que corresponde a la Unidad Mínima Cartografiable (UMC) para la escala de esta imagen Rapid Eye y posteriormente unirlo a la clase predominante; se realiza mediante el software Arc Gis utilizando el Editor y aplicando la herramienta Merge.

2.5 Validación y Clasificación Espectral de las Especies de Mangle

Al concluir los pasos anteriores se deben validar los datos obtenidos, esto se logra obteniendo la matriz de confusión, la cual consiste en obtener el error cometido en la clasificación, esto logra obtener

el número total de píxeles de cada clase, así como el porcentaje de píxeles clasificados correctamente para cada clase (Chuvieco, 2010). Además se realizó un trabajo de campo para verificar los resultados de las coberturas por especie de mangle obtenidas en la clasificación espectral, el cual se realiza mediante la recolección de puntos de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) por cobertura clasificada.

3 Resultados 3.1 Clasificación Espectral

Se identificaron en total 11 clases, donde cuatro son de especies de mangle y las demás corresponden a otras coberturas que forman parte de terreno del humedal; como *Acrostichum aureum* (negraforra) que es un helecho muy abundante en el sistema deltaico, cuerpos de agua (lagunas costeras), zonas pantanosas, estanques de maricultura, red hídrica y el océano Pacífico. También, dentro de las clases se identificaron los usos de la tierra que se desarrollan en el ecosistema utilizando la metodología Corine Land Cover Versión Costa Rica (Rosales, 2016), como son el cultivo de arroz, palma africana, así como los pastos y espacios naturales que incluyen aquellas áreas que presentan pastos y diversa vegetación que no se puede clasificar individualmente, además de áreas de sedimentos y playas, por último, las áreas que presentan nubosidad (Figura 2).

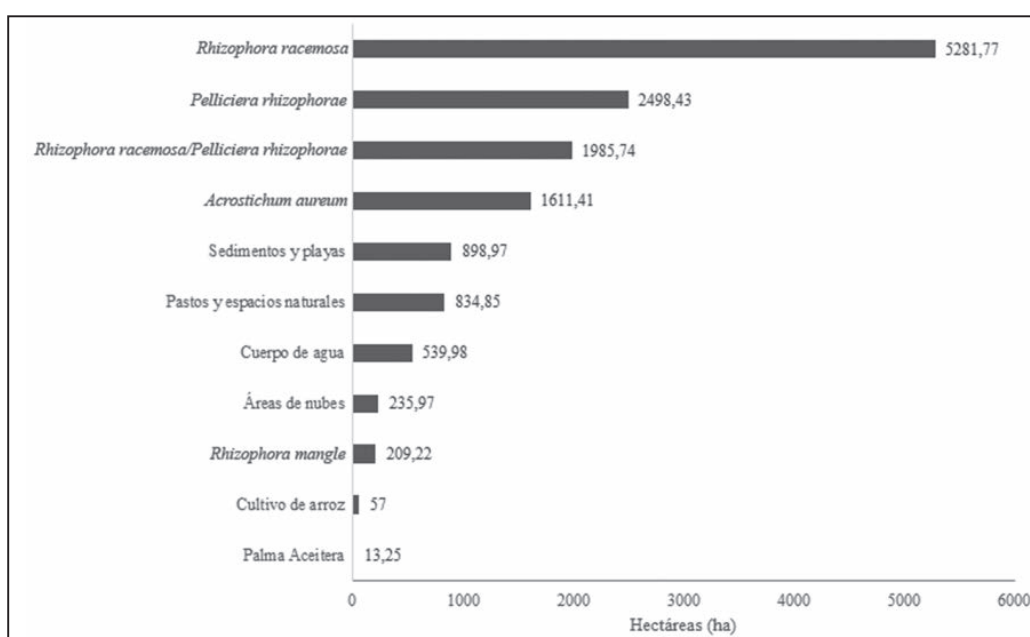


Figura 2
Resultados de la clasificación espectral de la vegetación de mangle, las coberturas y usos de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 2012.

Los resultados determinan que la clase dominante en el HNTS son las especies de mangle *Rhizophora racemosa* (mangle caballero), que cubre un área superior a las 5200 ha, que equivale a un 37% del terreno del HNTS, la segunda cobertura con mayor extensión es la especie manglárica *Pelliciera Rhizophorae* (mangle piñuela) con más de 2400 ha que corresponde a un 17% y como tercer clase dominante que se obtuvo esta la asociación entre la especies *R. racemosa* y *P. Rhizophorae* con alrededor de 1900 ha que se traduce en 14% del humedal.

En cuanto a las clases restantes se identificó una abundancia de la especie *Acrostichum aureum* (negraforra) con una extensión mayor a las 1600 ha, que representan un 11% del humedal, luego se

ubican los sedimentos y playas con una cobertura mayor a 890 ha, así como los pastos y espacios naturales con alrededor de las 830 ha; estas dos últimas clases mencionadas presentan porcentajes de cobertura similares que equivalen a un 6% en el terreno. En cuanto a los cuerpos de agua abarcan un poco más de 530 ha, estos corresponden a un 4% (sin incluir la red hídrica y el océano Pacífico); la siguiente cobertura corresponde a la especie de mangle *Rhizophora mangle* (mangle gateador-rojo) con 209 ha que se traduce en un 2% y por último, las actividades agropecuarias que entre ambas cubren 70 ha que representan un 1%, entre estas actividades destacan el cultivo de arroz y la palma aceitera (Figura 2).

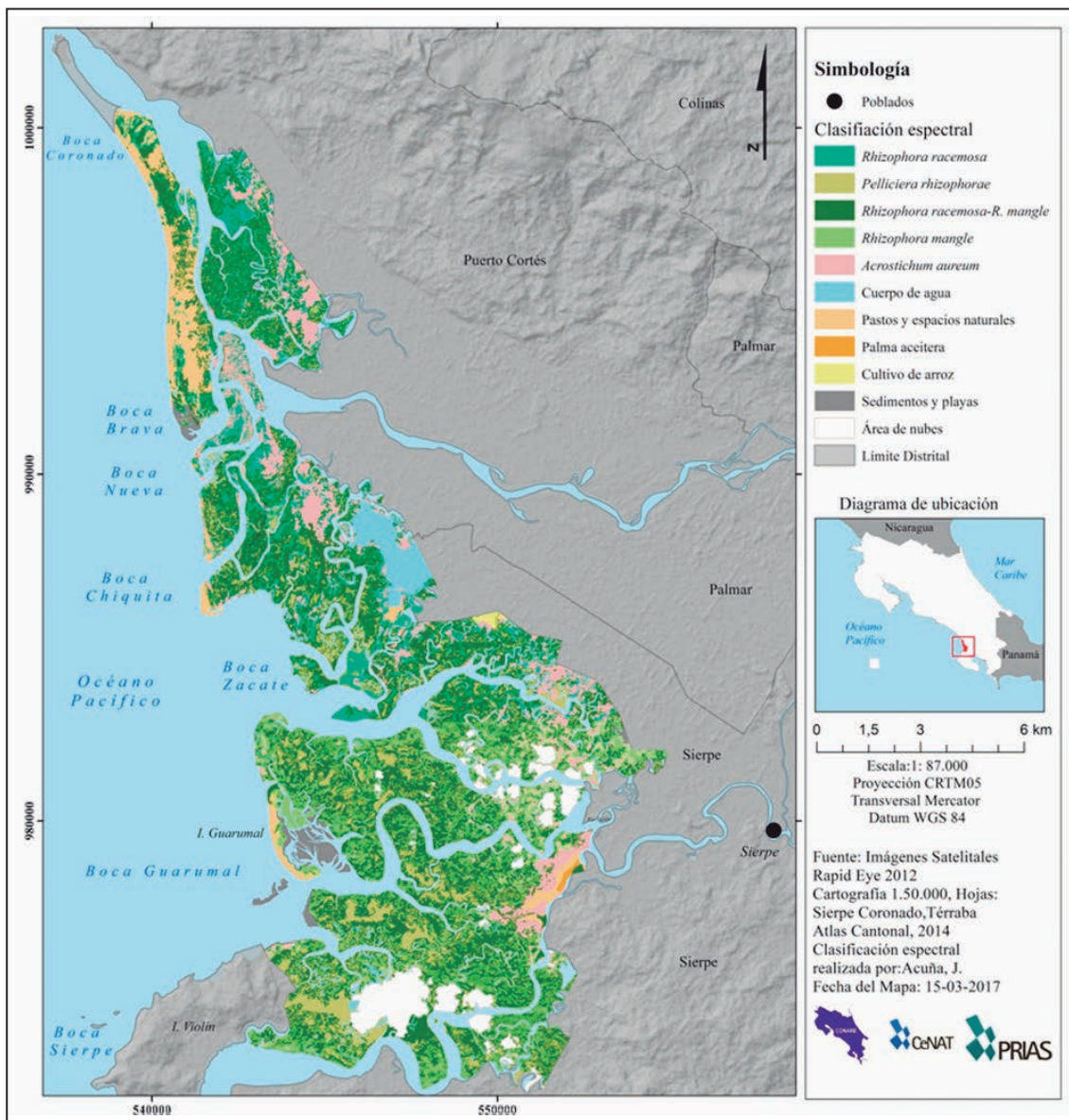


Figura 3
 Clasificación espectral de los usos y coberturas de la tierra del Humedal Nacional Térraba-Sierpe, para el año 2012.

3.2 Vegetación Dominante en los Bancos de Sedimentos

Mediante la clasificación espectral, se conoce cuáles son las especies que han ido colonizando las áreas que se han establecido a través del tiempo, específicamente las barras litorales que son las que están cubiertas por esta vegetación (Acuña-Piedra & Quesada-Román, 2016). Al analizar los procesos de colonización de la vegetación en las barras litorales, se evidencia que todas las barras consolidadas a lo largo del humedal se encuentran abrigadas por diferentes coberturas (Figura 3).

Al analizar las desembocaduras del HNTS norte a sur, para el caso de boca Coronado solo se visualiza una pequeña área de barras litorales, las cuales tienen un área de 3 ha, divididas en 1 ha de *R. rhizophorae*, así como 1,04 ha de *R. racemosa* y 600 m² de la asociación entre *R. racemosa* y *P. rhizophorae*.

En el extremo norte de la boca Brava se presenta una barra litoral, con una extensión de 54 ha, una gran parte de su terreno no presenta vegetación. Sin embargo, cuenta con parches aislados de vegetación, donde se encuentran 3 ha de la asociación *R. racemosa* y *P. rhizophorae*, así como un parche monoespecífico de *R. racemosa* con 3 ha y además de un área de 1,4 ha de pastos y espacios naturales. Con respecto a boca Nueva, se encuentra una barra litoral con una extensión de 17 ha, la cual presenta 12,1 ha de cobertura del helecho *A. aereum*, siendo esta especie la más abundante en estas barras litorales. También, se identifica la asociación manglarica entre *R. racemosa* - *P. rhizophorae* con un área de 4 ha, pastos o espacios naturales con 4 ha y algunos parches de *R. racemosa* que cubren 2,06 ha.

En boca Chiquita, se encuentra una gran barra litoral con un área de 56 ha, la cual está cubierta totalmente por vegetación, donde predominan los pastos y espacios naturales con 22 ha, seguidos de *R. racemosa* con 19 ha, así como la asociación *R. racemosa*-*P. Rhizophorae* cubre 11 ha, *A. aereum* con 2 ha y *R. mangle* con 1 ha. En boca Zacate, se presenta una barra litoral con 64 ha, la cual está cubierta por vegetación en su totalidad, donde los pastos y espacios naturales son los más abundantes con un área de 32 ha, *R. racemosa* presenta 18,47 ha, *A. aereum* con 5,03 ha, *R. racemosa* -*P. rhizophorae* también con 5 ha, y parches monoespecíficos de *P. rhizophorae* con 2,5 ha.

Las barras litorales ubicadas al este de la isla Guarumal son seis, donde todas están cubiertas por vegetación en su totalidad; destacando la vegetación de *R. mangle*, ya que predomina en cinco de las seis barras y en el caso de boca Sierpe no presenta este tipo de barras de sedimentos cubierta de vegetación.

3.3 Resultados de la Validación de la Clasificación Espectral

A partir del método de la matriz de confusión para toda la clasificación da como resultado 83,78%, siendo el mangle *R. racemosa* es el que tiene mayor aceptación en su clasificación, ya que supera el 80% y la clase con un menor porcentaje de aprobación es *R. mangle*, porque tiene 73% (Cuadro 1), según Chuvieco (2010), cuando la matriz de confusión supera el 80% es aprobada. Para la comprobación en el campo, se hace mediante 190 puntos de las diferentes especies de mangle que valida la información obtenida en la clasificación.

Matriz de Confusión						
Clase	<i>R. racemosa</i> %	<i>R. racemosa</i> %	<i>R. racemosa</i> - <i>P. rhizophorae</i> %	<i>R. mangle</i> %	<i>A. aereum</i> %	Total
<i>R. racemosa</i> %	81.25	8	0	0	0	28.89
<i>R. racemosa</i> %	6.25	84	0	0	0	21.94
<i>R. racemosa</i> - <i>P. rhizophorae</i> %	0	8	79	0	0	14.06
<i>R. mangle</i> %	8	6	0	73.33	0	16.02
<i>A. aereum</i> %	0	0	8	0	82	12
No clasificado %						7.09
Total						100
Overall Accuracy = (62/74) 83.78%						
Kappa Coefficient = 0,7135						

Tabla 1 Matriz de confusión aplicada a la clasificación espectral: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 2012

4 Discusión y Conclusiones

Los manglares son uno de los ecosistemas más amenazados del mundo y se encuentran continuamente afectados por la contaminación y

la deforestación, esto ha llevado a un incremento acelerado de pérdida de un 25% de los manglares a nivel mundial (5 millones de ha) en las últimas dos décadas (Adame & Kauffmann, 2010). Según Zaldívar *et al.* (2004) las características específicas del manglar los vuelve susceptibles a cualquier cambio o modificación en el entorno; tanto por diferentes agentes naturales, por las actividades antrópicas como el crecimiento urbano no controlado, turismo, además del cambio en el uso de la tierra y la deforestación.

De manera específica, pueden mencionarse algunos casos de los países que han perdido su cobertura de mangle como es Madagascar que entre 1951 y 2000 hubo un decrecimiento del 41,74% de las superficies mangláricas, por variaciones hidrológicas y sedimentológicas en el comportamiento del río Mangoky (Rakotomavo & Fromard, 2010). También, está el caso de los manglares en Kenia que entre 1985 y 2010 tuvieron una pérdida del 18% de sus extensiones originales, motivada por la extracción de leña como combustible, y cambios en el uso del suelo para el desarrollo de salares, acuicultura y turismo (Kirui *et al.*, 2013). Al mismo tiempo en los ecosistemas de mangle en Camerún se determinaron pérdidas de manglar de 989 ha entre 1965 y 2008, lo que se ha asociado a inundaciones costeras, además por la explotación de madera como combustible (Munji *et al.*, 2014).

Estos cambios que han enfrentado los manglares a nivel mundial, hace que sea necesario evaluar el estado actual de estos ecosistemas, tanto en su extensión como el tipo de vegetación que presentan, esto permite evaluar su estado y a la vez contar con un registro para próximos estudios, así como para iniciativas de restauración (Stokes *et al.*, 2016). Por este motivo se evaluó parte del HNTS, mediante una clasificación de especies para realizar un análisis con mayor detalle.

Entre los resultados obtenidos, se determinó que la especie manglárica dominante en el sistema deltaico Térraba-Sierpe es *R. racemosa*, esta se caracteriza por ser una especie de mangle con raíces en forma de zanco, las cuales facilitan su asentamiento en los sedimentos, también, es la especie arbórea de mangle que logra alcanzar mayor altura y desarrollo estructural, lo cual la ha expuesto a la explotación para fines comerciales, por lo que sus poblaciones se han visto amenazadas desde varias décadas

atrás (Mainardi, 1996). Su abundancia en el HNTS puede relacionarse con su distribución horizontal y a su adaptabilidad a suelos lodosos y con altos porcentajes de salinidad (Barrantes & Cerdas, 2015).

La distribución de *R. racemosa* se da en todo el humedal, tiene un patrón que va desde las orillas del cauce del río hasta el interior del terreno, donde se puede observar que en el sector norte del humedal se da una mayor abundancia de individuos aislados (Figura 3). Por otra parte, en el caso del sector sur la *R. racemosa* se encuentra relacionada con la distribución de *P. rhizophorae*, la cual se encuentra en el núcleo del terreno, esto debido a que el mangle caballero representa una barrera que promueve el establecimiento del mangle piñuela (Barrantes & Cerdas, 2015). A su vez, su abundancia se compara con la de otros estudios en el HNTS, donde se ha determinado que *R. racemosa* presenta un 44% de abundancia relativa (Barrantes & Cerdas, 2015), estando presente en más del 90% en el delta (Mainardi, 1996).

La segunda especie más abundante es *P. rhizophorae*, que es un árbol característico por sus raíces en forma de gamba y con frutos acorazonados, además es un árbol que presenta baja altura, la cual no sobrepasa los 25 m (Mainardi, 1996). Su gran abundancia en el humedal se relaciona de igual forma con los factores que benefician a *R. racemosa*, como es la distribución horizontal y su adaptabilidad a los suelos lodosos (Barrantes & Cerdas, 2015). En cuanto a su localización en el área del humedal, esta se da a lo largo de todo el terreno con un patrón de colonización hacia los núcleos, a su vez, es más abundante en el sector sur del humedal, con parches aislados en el sector norte (Figura 3). La gran abundancia de esta especie también es reconocida en el HNTS, con una abundancia relativa del 39,92% (Barrantes & Cerdas, 2015), estando presente en el 80% del delta (Mainardi, 1996).

Por lo tanto, ambas especies son las que predominan en el terreno del HNTS; sin embargo, aparte de su distribución en forma monoespecífica, también se da un comportamiento de asociación mixta entre ambas especies. Esta asociación es difícil de explicar, ya que ambas especies tienen diferentes condiciones para desarrollarse; aunque, se sabe que está relacionada con las condiciones topográficas y geográficas de la zona, en lugar de otros factores relacionados con la dinámica de delta

como salinidad, escorrentía y nivel de inundación (Samper-Villarreal & Silva-Benavides, 2015).

En el sector norte del humedal se encuentran las mayores áreas de cobertura mixta *R. racemosa*-*P. rhizophorae*, dicho sector es el lugar del humedal drenado por el río Grande de Térraba, que, a su vez, es donde menor influencia tienen los procesos costeros, ya que existen barreras naturales como las barras de sedimentos distribuidas a lo largo del cordón litoral, las cuales generan condiciones más estables en el terreno promoviendo el proceso de asociación manglar. Caso contrario, se encuentra que el sector sur que está sometido a fuerte estrés por los procesos costeros que ocasionan cambios constantes en los regímenes hídricos, de salinidad, así como el arrastre del terreno; por lo tanto, para las especies manglares es difícil adaptarse al entorno más hostil, lo que puede perjudicar la conformación de grandes parches de manglar mixto (Ortiz, 2012).

En cuanto a la tercera especie de mangle clasificada, *R. mangle*, esta se caracteriza por ser la principal especie colonizadora del HNTS, porque puede crecer en sustratos lodosos arenosos, lo que facilita su aumento poblacional en áreas en las cuales apenas se están formando suelos lodosos. Además, morfológicamente se caracteriza por sus raíces fúlcreas que se arquean en el tronco; esta también fue una de las especies explotadas en forma comercial en el humedal, especialmente por su alto porcentaje de taninos contenidos en la madera.

La distribución del *R. mangle* se da en pequeños parches aislados, siendo más frecuentes en el sector sur, destaca al este de la isla Guarumal donde se encuentran varias áreas cubiertas por este manglar principalmente en los sedimentos que conforman las barras litorales (Quesada-Román & Acuña-Piedra, 2017). La distribución de esta especie en general se da en lugares donde la energía de las mareas es baja y, en algunos casos, en el interior de las lagunas costeras, también en los márgenes de los canales de los ríos Grande de Térraba y Sierpe, así como en zonas donde se dan procesos de inundación y en la desembocadura de los ríos (Barrantes & Cerdas, 2015) (Figura 3).

Entre las demás coberturas que se determinaron por medio de la clasificación espectral, destaca la especie *A. aureum* que se encuentra entre las vegetaciones más abundantes en el humedal, aparte

de *R. racemosa* y *P. rhizophorae*. La abundancia de esta especie en el lugar se explica por su condición de amplia tolerancia a la salinidad, lo que le permite a este helecho encontrarse tanto en las orillas de los ríos como en el interior del terreno, alcanzando los 3 m de altura y es distinguible por una coloración castaña en la parte inferior de las hojas.

Para las demás coberturas identificadas, se encuentran los pastos y espacios naturales que incorporan todas aquellas áreas que no presentan ningún tipo de vegetación manglar, y que están intervenidas tanto de forma natural como antrópica. Se incluyen todas las áreas con charral, pastos limpios y toda aquella vegetación no identificada taxonómicamente, pero no manglar, según los espectros (Acuña-Piedra & Quesada-Román, 2017).

En cuanto a su distribución en el humedal, se observan en las barras formadas en boca Coronado, en algunas barras de sedimentos en boca Brava y Chiquita, así como en las cercanías de los estanques de maricultura (Figura 3). Con respecto a su predominancia, se presentan en casi toda la isla Guarumal y en colindancia con las plantaciones de palma aceitera. En la mayoría de los sitios, esta cobertura se presenta cercana a las especies manglares *R. racemosa* y *A. aureum*, lo cual sugiere presiones competitivas sobre este tipo de vegetación.

También se clasificaron las áreas de actividades agropecuarias que corresponde a la palma aceitera y los cultivos de arroz; en el caso de la palma aceitera, esta se estableció en el humedal para el año 2012 (Acuña-Piedra, 2016). Estas actividades provocan efectos negativos en el humedal, por el uso de agroquímicos, la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad (Beggs & Moore, 2013).

Además, otra actividad antrópica importante que se desarrolla en el humedal es el establecimiento de estanques de maricultura, incluido en la clasificación como cuerpo de agua; estas actividades surgen alrededor del año 1992 con un área de 128,02 ha y aumentó hasta 263,26 ha para el año 2012 (Acuña-Piedra, 2016). Estos estanques están rodeados de *A. aureum*, *R. racemosa* y *P. rhizophorae*, por lo que al desarrollarse esta actividad debió talarse una gran área de cobertura manglar; actualmente, este tipo de producción está prohibida en el área protegida (González & Herrera, 2010).

Por último, se clasificaron las playas y sedimentos que corresponden a todas las áreas que están cubiertas por los tres tipos de barras submarinas, insulares y litorales, las cuales se distribuyen a lo largo de todo el humedal (Acuña-Piedra & Quesada-Román, 2016). Para el caso de la nubosidad, esta se presenta en algunas áreas del sector sur del humedal, limitando los procesos de clasificación ya que no se conoce que cobertura se encuentran en esos lugares.

Todos los resultados que se alcanzaron con la clasificación se validaron para conocer la calidad de este trabajo, entre los métodos está la confirmación basada en depuración manual realizada en ArcMap, la segunda forma de validación fue en campo a partir de la toma de puntos de GPS realizado junto a cada especie manglarica del HNTS y como tercero es la técnica de la matriz de confusión propuesta por Chuvieco (2010).

El primer método de validación mejora la clasificación mediante la depuración de las 11 clases, además de su comprobación. Para la comprobación en el campo, se hace mediante los 190 puntos de control de las diferentes especies de mangle; y para el método de la matriz de confusión para toda la clasificación da como resultado 83,78%, siendo el mangle *R. racemosa* es el que tiene mayor aceptación en su clasificación, ya que supera el 80% y la clase con un menor porcentaje de aprobación es *R. mangle*, porque tiene 73%. Según Chuvieco (2010), cuando la matriz de confusión supera el 80% es aprobada.

5 Agradecimientos

Este estudio se realizó gracias al apoyo brindado con el sistema de becas para trabajo finales de graduación del Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT) y el Laboratorio PRIAS. También se destaca el apoyo durante el trabajo de campo al biólogo Fabián Sibaja Araya y a la geógrafa Daniela Campos.

6 Referencias

Acuña-Piedra, J.F. 2016. *Análisis espacio-temporal de la evolución geomorfológica, los cambios en el uso y cobertura de la tierra así como la distribución del mangle en el Humedal Nacional Térraba-Sierpe en el periodo*

- de 1948 – 2012. Universidad Nacional de Costa Rica, Disertación de Licenciatura en Ciencias Geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio, 155p.
- Acuña-Piedra, J. F. & Quesada-Román, A. 2016. Evolución geomorfológica entre 1948 y 2012 del delta Térraba-Sierpe, Costa Rica. *Cuaternario y Geomorfología*, 30(3-4): 49-73.
- Acuña-Piedra, J. F. & Quesada-Román, A. 2017. Cambios en el uso y cobertura de la tierra entre 1948 y 2012 en el Humedal Nacional Térraba-Sierpe, Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 9(2): 9-28.
- Adame, M. & Kauffmann, B. 2010. *Determinación de la estructura y existencias de carbono en manglares de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an*. Fondo Mexicano para la conservación de la naturaleza, 9p.
- Barrantes, M. B. & Cerdas, A. 2015. Distribución espacial de las especies de mangle y su asociación con los tipos de sedimentos del sustrato, en el sector estuarino del Humedal Nacional Térraba-Sierpe, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 63(1): 47-60.
- Beggs, E. & Moore E. 2013. *El Paisaje Social de la Producción de Aceite de Palma Africana en la Región de Osa y Golfito, Costa Rica*. San José, Costa Rica. INOGO, Stanford Woods Institute for the Environment, p. 5-31.
- Chuvieco, E. 2010. *Teledetección Ambiental: La Observación de la Tierra Desde el Espacio*. Ariel, p. 532.
- Giri, C.; Ochieng, E.; Tieszen, L.; Zhu, Z.; Singh, A.; Loveland, T.; Loveland, J. & Duk, N. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite datageb. *Global Ecology and Biogeography*, 20: 154-159.
- González, A. & Herrera, P. 2010. *Diagnóstico para la Elaboración de un Plan de Manejo para los Manglares del Golfo Dulce en el Área de Conservación Osa, Costa Rica*. Proyecto para Apoyar el Manejo Sostenible y Conservación de la Biodiversidad de los Manglares en el Canal Gbaga en Benín y el Golfo Dulce en ACOSA, Costa Rica. Fundación Neotrópica, San José, Costa Rica, 113p.
- Gutiérrez, M.A. 2005. Clasificación no supervisada de coberturas Vegetales sobre imágenes digitales de sensores Remotos: „landsat-etm“. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(1): 2611-2634.
- Jiménez, J. 1993. *Alternativas de manejo de los manglares en el contexto del Pacífico de Centroamérica*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica, p. 15-17.
- Kirui, K.; Kairo, J.; Bosire, J.; Viergever, K.M.; Rudra, S.; Huxman, M. & Briers, R.A. 2013. Mapping of mangrove forest land cover change along the Kenya coastline using Landsat imagery. *Ocean & Coastal Management*, 83(1): 19-24.
- Lizano, O.; Amador J. & Soto, R. (2001). Caracterización de manglares de Centroamérica con sensores remotos. *Revista de Biología Tropical*, 49(1): 331-340.
- Mainardi, V. 1996. El manglar de Térraba Sierpe en Costa Rica. *CATIE*, 284: 1-24.
- Mora, F. 2013. *Morfodinámica litoral de boca zacate, su impacto en la cobertura del bosque de mangle y su relación con las actividades económicas de los habitantes de sierpe, cantón osa, Costa Rica: recomendaciones para una gestión integrada*. Universidad de Costa Rica, San José, Tesis de Maestría, 195p.
- Munji, C.A.; Bele, M.Y.; Idinoba, M.E. & Sonwa, D.J. 2014. Floods and mangrove forests, friends or foes Perceptions of relationships and risks in Cameroon coastal mangroves. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 140: 67-75.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2005. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005: Estudio temático sobre manglares Costa Rica. Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/9208-0fb7e941527886367bcbd9c272ec60a1e.pdf>
- Ortiz-Malavasi, E. 2012. Cambios geomorfológicos en el litoral Caribe y Pacífico de Costa Rica. Caso del Complejo Déltico de Sierpe. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 5(15): 45-54.
- Quesada-Román, A. & Acuña-Piedra, J.F. 2017. Efectos climáticos y antrópicos en la morfogénesis de isla Guarumal, Humedal Nacional Térraba-Sierpe, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2): 169-180.
- Rakotomavo, A. & Fromard, F. 2010. Dynamics of mangrove forests in the Mangoky River delta, Madagascar, under the influence of natural and human factors. *Forest Ecology and Management*, 259(1): 1161-1169.
- Ramsar, S.D. 2006. *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales*. Gland, Switzerland, 96p.
- Rosales, A. 2016. Leyenda CLC-CR para la generación de para de uso/ cobertura de la tierra de Costa Rica (Leyenda corine land cover versión Costa Rica v 1.0), San José, CR: MAG/INTA, p. 104.
- Samper-Villarreal, J. & Silva-Benavides, A.M. 2015. Complejidad estructural de los manglares de Playa Blanca, Escondido y Rincón de Osa, Golfo Dulce, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 63(1): 199-208.
- Sánchez, R.; Reyes, V.; Mora, R.; Castro, R.; Madrigal, P.; Ovares, C. & Cascante, S. 2013. Informe final: Valoración económica de usos alternativos de la Tierra del área de amortiguamiento y del Humedal Nacional Térraba-Sierpe (HNTS), p. 8-113.
- Sierra, C.; Castillo, E. & Arguedas, S. 2007. Documento de trabajo para el plan de manejo del humedal nacional Térraba-Sierpe. Diagnósticos biofísico, social, económico, productivo y análisis institucional. San José, Costa Rica, p. 5-140.
- Stokes, D.J.; Bulmer, R.H. & Lundquist, C.J. 2016. Addressing the mismatch between restoration objectives and monitoring needs to support mangrove management. *Ocean & Coastal Management*, 134: 69-78.
- Tomlinson, P.B. 1986. *The botany of mangroves*. Cambridge, Cambridge Tropical Biology Series, 61p.
- Zaldivar, A.; Herrera, J.; Coronado, C. & Parra, A. 2004. Estructura y productividad de los manglares en la reserva de biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 10(1): 25-35.
- Zamora-Trejos, P. & Cortés, J. 2009. Los manglares de Costa Rica: el Pacífico norte. *Revista de Biología Tropical*, 57(3): 473-488.