



FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y
BIOLÓGICAS

CARRERA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA MARINA

“¿SE ESTÁN REDUCIENDO LOS HUMEDALES DE LA COSTA DE
LIMA? UN ESTUDIO BASADO EN TELEDETECCIÓN Y SIG”

Trabajo de investigación para optar el grado de:
BACHILLER EN BIOLOGÍA MARINA

Presentado por:

Daneska Alexandra Urbina Rojas (0000-0003-2756-2073)

Flavia Valeria Rivera Cáceda (0000-0002-8437-6499)

Asesor:

Héctor Alonso Aponte Ubillús (0000-0001-5249-9534)

Lima – Perú

2020

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE BACHILLER

Lima, 22 DE OCTUBRE 2020.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Miembro: Blgo. ALDO GONZALO INDACOCHA MEJÍA

Miembro: MSc. PIERO RAFAEL VILLEGAS APAZA

Se reúnen para evaluar el trabajo de bachiller titulado:

“¿Se están reduciendo los humedales de la costa de Lima? Un estudio basado en teledetección y SIG”

Presentada por las estudiantes:

- **Daneska Alexandra Urbina Rojas**
- **Flavia Valeria Rivera Cáceda**

Para optar el grado de Bachiller en Biología Marina

Asesoradas por: Dr. Héctor Alonso Aponte Ubillús

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de la estudiante de la carrera de Biología Marina en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple () calificar a:

Estudiante: Daneska Alexandra Urbina Rojas	Nota: 18 (Dieciocho)
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena (X) Aprobado - Sobresaliente () Desaprobado ()

Estudiante: Flavia Valeria Rivera Cáceda	Nota: 18 (Dieciocho)
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena (X) Aprobado - Sobresaliente () Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Blgo. ALDO GONZALO INDACOCHA MEJÍA
Miembro 1



MSc. PIERO RAFAEL VILLEGAS APAZA
Miembro 2



Dr. HECTOR ALONSO APONTE UBILLÚS
Asesor

Agradecimientos:

Los autores desean expresar su agradecimiento a Piero Villegas e Irene Castro por haber hecho llegar sus sugerencias, comentarios y recomendaciones para el presente estudio.

¿Se están reduciendo los humedales de la costa de Lima? Un estudio basado en teledetección y SIG

Are the wetlands on the coast of Lima shrinking? A study based on remote sensing and GIS

Urbina, D.*¹, Rivera-Cáceda, F.¹, Aponte, H.¹

¹ Carrera de Biología Marina, Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas. Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

* Corresponding author: daneskaurbina@gmail.com

Resumen

Los humedales costeros son considerados uno de los ecosistemas más productivos del mundo y brindan alimento a diversas especies. Conocer los cambios que ocurren en estos ecosistemas es importante para una buena gestión de los servicios ecosistémicos que brindan. El objetivo del estudio fue de evaluar los potenciales cambios en las áreas totales y cobertura vegetal de seis humedales costeros de Lima en el periodo 2002-2019. Para ello, se utilizaron la teledetección (imágenes satelitales), SIG y una clasificación no supervisada (la misma que se utilizó para la clasificación del NDVI). Los resultados muestran que dos de los humedales tuvieron un incremento en su área: Albufera de Medio Mundo (+37.51%) y Laguna El Paraíso (+6.40%); en cambio, el Humedal de Ventanilla (-21.88%), Humedal de Puerto Viejo (-7.37%) y Humedal Santa Rosa (-3.17%) presentaron una disminución. La tasa de cambio promedio del área (+0.14% anual) es mayor al cambio promedio mundial (-1.08% anual); sin embargo, sugerimos evaluar la evolución de estos humedales de manera independiente (para evitar perder la información de lo que está sucediendo en humedales que se están reduciendo). En cuanto a la cobertura vegetal, tres humedales presentaron un aumento: Albufera de Medio Mundo (+51.54%),

Laguna El Paraíso (+26.03%) y Humedal Santa Rosa (+12.36%). De forma contraria, se aprecie una disminución para los Humedales de Puerto Viejo (-1.34%), Humedales de Ventanilla (-6.62%) y Los Pantanos de Villa (-18.13%). Las reducciones pueden deberse a actividades antropogénicas (agricultura, arrojado de desmonte o ganadería) reportadas en estudios previos para las áreas evaluadas. Los aumentos en la cobertura y área, pueden estar relacionados al desarrollo propio de estos ecosistemas cuando están alejados de la población (como en el caso de Medio Mundo y Paraíso) o cuando la vegetación crece producto de procesos de eutrofización (como en el caso del humedal Santa Rosa).

Palabras Clave: Área total, cobertura vegetal, clasificación no supervisada, imágenes satelitales, NDVI, SIG

Abstract

Coastal wetlands are considered one of the most productive ecosystems in the world and provide food for various species. Knowing the changes that occur in these ecosystems is important for a properly manage of the ecosystem services they provide. The objective was to evaluate the potential changes in total areas and vegetation cover of six wetlands on the coast of Lima in the period 2002-2019. For this, remote sensing (satellite images), GIS and an unsupervised classification (the same that was used to find the NDVI) were used. The results show that two of the wetlands had an increase in their area: Albufera de Medio Mundo (+ 37.51%) and Laguna El Paraiso (+ 6.40%). On the other hand, Humedales de Ventanilla (-21.88%), Humedal de Puerto Viejo (-7.37%) and Humedal Santa Rosa (-3.17%) showed a decrease. The average exchange rate of the area (+ 0.14% per year) is higher than the world average change (-1.08% per year); we suggest evaluating the evolution of these wetlands independently (to avoid losing information about what is happening in decreasing wetlands). Regarding vegetation cover, three

wetlands showed an increase: Albufera de Medio Mundo (+ 51.54%), Laguna El Paraíso (+ 26.03%) and Humedal Santa Rosa (+ 12.36%). On the contrary, was found for the Humedal de Puerto Viejo (-1.34%), Humedales de Ventanilla (-6.62%) and Los Pantanos de Villa (-18.13%). The reported reductions may be due to anthropogenic activities (agriculture, dumping of construction waste or livestock) reported in previous studies for the evaluated areas; the increases in coverage and area may be related to the development of these ecosystems when they are far from the population (as in the case of Medio Mundo and Paraíso) or when the vegetation grows as a result of eutrophication processes (as in the case of the Santa Rosa wetland).

Key words: Total area, Vegetal cover, unsupervised classification, satellite images, NDVI, SIG

1. Introducción

Los humedales son considerados uno de los ecosistemas más productivos del mundo (Mitsch y Gosselink, 1993); estos ecosistemas favorecen al reciclaje de nutrientes, brindan seguridad alimentaria y almacenan carbono, su presencia disminuye los impactos de las inundaciones, proporcionan agua dulce y brindan alimento para las especies, incluyendo a la población humana (Constanza et al., 1997, 2014; Farber et al., 2002). Muchos humedales presentan un gran valor cultural, espiritual, recreativo y son fuente de inspiración (De Groot et al., 2007; RAMSAR, 2018). Por todo ello, es importante establecer medidas para su gestión y conservación, de manera que se puedan mantener estos servicios ecosistémicos para las generaciones futuras (De Groot et al., 2007).

En el Perú, los humedales costeros se alimentan del agua proveniente de las cuencas de la vertiente occidental de los Andes; la misma puede llegar directamente a la costa o también filtrarse para formar parte de la napa freática, pasando inclusive por irrigaciones, campos agrícolas y urbanizaciones (Aponte, 2017). Estos ecosistemas forman parte de un corredor biológico a lo largo de la costa desértica del Perú (Aponte y Ramírez, 2011); en ellos se alberga una gran cantidad de organismos, los cuales suman más de 300 especies inventariadas (Aponte y Cano, 2013; Pacheco et al., 2015; Aponte y Apeño, 2019; Castillo y Huamantínco, 2020; Pulido et al., 2020). Estos humedales se encuentran amenazados por actividades antropogénicas como el crecimiento urbano, el exceso de pastoreo, incendios, el arrojado de desmonte e introducción de especies exóticas (Ramírez y Cano, 2010; Aponte y Ramírez, 2014; Aponte et al., 2017). Todas estas actividades generan diversos cambios en el tiempo; entre ellos, los cambios en el área que ocupan estos humedales.

La aplicación de sistemas de información geográfica (SIG) junto con la teledetección, nos permite evidenciar cambios en los ecosistemas (Lowry, 2007; Flores et al., 2020). El análisis de los índices espectrales más comunes, conocidos como índices de vegetación, enfatizan la discriminación de la cobertura vegetal (Chuvieco et al., 1999). Uno de ellos, el índice de vegetación normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés), permite identificar tanto la presencia como el estado de la vegetación, por medio de la diferencia en reflectividad entre bandas espectrales (Hernández et al., 2014); este índice arroja valores del verdor y proporciona la cantidad de vegetación presente en una superficie, midiendo las relaciones entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres (Tovar, 2012), con lo cual se puede calcular el área de la cobertura vegetal para una determinada zona de interés y sus variaciones en el tiempo.

Se han realizado algunas aproximaciones sobre el área que ocupan los humedales de la costa peruana. Por ejemplo, el Atlas de los humedales costeros del Pacífico, muestra de manera general el área de cada uno de los humedales de la costa (<https://humedalescosteros.org/atlas/>). Existen algunos estudios referentes a la variación del área y cobertura vegetal de los humedales marino costeros (a nivel de artículos científicos e informes técnicos) realizados por ejemplo en los manglares de Tumbes-Perú (Príncipe y Céspedes, 2014) y en Los Pantanos de Villa (Flores et al., 2020; Rojas et al., 2020); para estos dos casos mencionados, es coincidente el patrón de reducción de las áreas con vegetación. Dado que los métodos que sirven para evaluar la extensión, las estimaciones de la tasa de pérdida y la degradación de humedales a nivel mundial no siempre concuerdan (Lehner y Döll, 2004; Finlayson et al., 2005) es importante conocer si los patrones de cambio en el área se cumplen también en otros humedales aún no evaluados, así como comparar si estos cambios siguen las tendencias globales (Lehner y Döll, 2004; MacKay et al., 2009; Rebelo et al., 2018).

Por las razones expuestas, el objetivo de la presente investigación fue determinar las áreas totales y cobertura vegetal de seis humedales de la costa de Lima, mediante el uso de teledetección y SIG y evaluar sus potenciales cambios, durante los periodos 2002- 2019.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

En el presente estudio se comparó el área de seis humedales, ubicados a lo largo de la costa de Lima: Albufera de Medio Mundo (MM), Laguna El Paraíso (PAR), Humedales de Puerto Viejo (PV), Humedal Santa Rosa (SR), Humedales de Ventanilla (VEN) y Pantanos de Villa (PAN). Estos se encuentran ubicados entre los 10°58'05.15"S y los 12°34'16.77"S (Fig. 1). Estos humedales forman una franja costera en medio del desierto y se caracterizan por encontrarse de forma contigua o cercana a urbanizaciones y, en su mayoría, están divididos por carreteras. Las formaciones vegetales comunes en estos ecosistemas son los juncuales (con predominio de *Schoenoplectus americanus* (Pers)), gramadales (con predominio de especies del género *Sporobolus* o la especie *Distichlis spicata* (L.) Greene) y totorales (ya sea de *Typha domingensis* Pers. o *Schoenoplectus californicus* (C. A. Mey.)) las cuales rodean uno o múltiples espejos de agua (Aponte y Cano, 2013; Aponte, 2017; Gonzales et al., 2019). Tres de estos humedales cuentan con una categoría de protección por parte del Estado Peruano a través de decretos supremos (D.S.): D. S. N° 055-2006-AG para el Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa; D. S. N° 074-2006-AG para el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla y el D.S. N° 006-2007-AG para el Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo.

Insertar Fig. 1

2.2. Metodología

El procedimiento descrito a continuación se siguió para el análisis del área de todos los humedales en estudio con excepción de Pantanos de Villa; para este último se calculó solamente la variación de la cobertura y la tasa de cambio a partir de la información disponible de Flores et al. (2020).

2.3. Búsqueda y adquisición de imágenes satelitales e información cartográfica básica:

Se adquirieron imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y 8 OLI-TIRS de los humedales estudiados durante el periodo 2002-2019 (Tabla 1). Para ello se utilizó la plataforma Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov>) del Servicio Geológico de los Estados Unidos, (USGS, por sus siglas en inglés) de donde se descargó las imágenes en formato GeoTIFF. Las imágenes fueron elegidas teniendo en cuenta poca nubosidad y procurando que sean de la misma época del año (en este caso, por la menor nubosidad, se eligieron las de los meses de verano). Todas las imágenes Landsat 7 ETM+ y 8 OLI-TIRS cuentan con una resolución multispectral de 30 m y una resolución pancromática de 15 m. Adicionalmente, como cartografía base, se utilizaron fuentes secundarias como revisiones bibliográficas y se descargó información geopolítica y demográfica del portal del Ministerio de Educación (<http://sigmed.minedu.gob.pe/>).

Insertar Tabla 1

2.4. Análisis, interpretación digital y cálculo del área total

La técnica de delimitación de los humedales estuvo basada en el procedimiento explicado por Condori y colaboradores (2018), en donde el área es delimitada a mano alzada, mediante una interpretación visual de las imágenes satelitales en el programa informático

Google Earth con una escala entre 1:400 y 1:1400 dependiendo del humedal (Tabla 1) y su función de delimitación de polígonos. Se consideró como límite del humedal el límite de la distribución de la vegetación de los humedales; los lagos, lagunas y canales asociados, fueron considerados como parte del humedal. No se consideraron los campos agrícolas.

Seguidamente, se procedió a convertir el polígono digitalizado a un formato shapefile en el software ARCGIS 10.5. Posteriormente se agregaron las imágenes satelitales con su respectivo geoprocésamiento (composición de bandas, corrección atmosférica y de calidad de la imagen cada vez que fue necesario). Todos los datos se proyectaron en el sistema de coordenadas UTM del datum WGS84 de la zona 18S. El área se calculó utilizando las capas de polígono para cada humedal.

2.5. Cálculo del NDVI

Posteriormente, para el cálculo del NDVI se utilizó el software ARCGIS 10.5 y la herramienta ráster calculator. Siguiendo la ecuación (1):

$$NDVI = \frac{IRCercano - Rojo}{IRCercano + Rojo} \dots (1)$$

El rango de valores de este índice fluctúa entre -1 y 1 (de -1 a 0 se considera suelo sin vegetación o cuerpo de agua; de 0 a 1, aumenta la cobertura vegetal). Mediante este índice, se realizó una clasificación no-supervisada de cada imagen, donde el número de clases varió entre 30 y 32; esto con el objetivo de diferenciar entre suelos sin vegetación y con vegetación.

Una vez obtenidos los valores de los índices de vegetación para cada imagen, se realizó un proceso de filtrado y suavizado para posteriormente sectorizarlos por medio de la

conversión de ráster a polígono en el software ArcGis 10.5 y poder calcular la cobertura vegetal de las imágenes.

2.6. Comparación temporal y tasa de cambio anual del área de los humedales:

Se comparó el área total de cada humedal entre los periodos establecidos (2002-2019), con los resultados obtenidos previamente y la información actual del área de los humedales. La cobertura vegetal obtenida a través de los años, servirá para estimar las tasas de cambio anual (T), mediante la ecuación (2):

$$T (\%/año) = \frac{\left(\frac{\text{Área en el año 2}}{\text{Área en el año 1}} \times 100\right) - 100}{\text{Año 2} - \text{Año 1}} \% \dots (2)$$

3. Resultados

3.1. Área de los humedales

De acuerdo a la delimitación generada por medio del análisis visual de las imágenes satelitales, se obtuvieron las áreas totales de cada humedal (para cada año evaluado), la variación multitemporal y la tasa de cambio, los cuales se pueden observar en la Tabla 2.

Insertar Tabla 2

El humedal con mayor área actual es Laguna El Paraíso (652.56 ha), seguido de las Albufera de Medio Mundo (606.34 ha), Humedales de Ventanilla (278.04 ha), Humedales de Puerto Viejo (270.45 ha) y el Humedal de Santa Rosa (61 ha). Las figuras 2 y 3 muestran los mapas de los humedales en el periodo evaluado (2002-2019); el humedal con mayor variación del área total es Albufera de Medio Mundo con un aumento de 38% (principalmente en la zona norte y zona oeste), seguido del humedal de Ventanilla donde el área se redujo en 22% (la reducción de su área ocurrió en la zona norte, este y en la

zona del ACR con -59.88 ha, -14.26 ha y -3.24 ha respectivamente); el humedal con menor variación es el Humedal Santa Rosa donde solo se redujo en 2 ha equivalente al 3% del área total (en la zona este).

La tasa de cambio siguió la misma tendencia que la variación del área, observándose la mayor tasa de cambio (+2.21 %/año) y la menor (-1.29 %/año) para los humedales de Albufera de Medio Mundo y de Ventanilla respectivamente. La tasa de cambio estimada para los humedales que han disminuido (Santa Rosa, Puerto Viejo y Ventanilla) es de -0.64 % al año en promedio; la tasa promedio de todos los humedales evaluados es de +0.14% anual.

Insertar Figura 2

Insertar Figura 3

3.2. Cobertura Vegetal

La variación multitemporal de la cobertura y tasa de cambio de cada humedal (para cada año evaluado) se encuentra representada en la Tabla 3.

Insertar Tabla 3

En la figura 4 y 5 se puede apreciar los cambios multitemporales de la cobertura vegetal, teniendo patrones similares a los descritos para el área total, evidenciando variaciones positivas para los humedales de Albufera de Medio Mundo (+123.24 ha), Laguna El Paraíso (+95.64 ha) y el Humedal de Santa Rosa (+5.22 ha); mientras que los Humedales de Puerto Viejo, Humedales de Ventanilla y Pantanos de Villa presentaron reducciones en su cobertura vegetal (con -3.55 ha, -19.01 ha y -41.76 ha respectivamente). Por otro

lado, la mayor tasa de cambio corresponde a Albufera de Medio Mundo (+3.03 %/año) y la menor (-1.07 %/año) para Los Pantanos de Villa.

Insertar Figura 4

Insertar Figura 5

4. Discusión

Los resultados nos indican que algunos humedales evaluados presentan una reducción de sus áreas. Las posibles causas de esta disminución parecen estar relacionadas al crecimiento urbano, o al establecimiento de zonas agrícolas o para la avicultura (tal como se puede apreciar en las figuras 2 y 3 para los humedales evaluados). La disminución del riego para agricultura causa cambios en la infiltración de agua en estos humedales (como en el caso planteado por Verones et al., 2012); a su vez, cambios en el uso de suelo, junto al arrojo de desmonte de construcciones, desechos, basura y otros residuos sólidos (Ramírez et al., 2010; Aponte y Cano, 2013; Castillo-Velásquez y Huamantínco-Araujo, 2020) afectan las condiciones del terreno. La creación de Áreas de Conservación Regional parece tener éxito, ya que sus límites se ven poco afectados por la urbanización (como en el caso de la Albufera de Medio Mundo) y aquellas zonas donde no hay contacto directo con la población parecen conservarse y aumentar (como en el caso de Laguna El Paraíso). Otras de las causas de la reducción del área en algunos humedales son las invasiones informales de pobladores de bajos recursos, reportada para los Humedales de Ventanilla (Moschella, 2012).

Adicionalmente, Aponte y Ramírez (2011) enfatizan la necesidad de evaluar las granjas destinadas a la avicultura (estas han sido apreciadas en Albufera de Medio Mundo, Laguna El Paraíso, Humedales de Puerto Viejo y Humedales de Ventanilla, con el nombre

de zona industrial; Figuras 2 y 3) y los posibles impactos que producen (por ejemplo, químico, sonoro y visual).

Las actividades agrícolas y ganaderas pueden afectar a los humedales reduciendo su área (tal como ha sido observado en los humedales de Ventanilla y Santa Rosa); sin embargo, es posible también que ocasionen cambios en la estructura de sus comunidades vegetales mediante la introducción de plantas invasoras potenciales (Aponte y Cano, 2013), introducción que no necesariamente disminuye ni el área ni la cobertura. Un caso interesante es el reportado por Gonzales et al. (2019), quienes recientemente han evaluado el Humedal de Santa Rosa, encontrando nuevas especies para el área, que incluyen especies propias de humedales (como *Equisetum giganteum* L. y *Wolffiella oblonga* (Phil.) Hegelm.) pero también invasoras potenciales (como *Galinsoga parviflora* Cav., *Ipomoea digitata* L., *Medicago sativa* L., *Flaveria bidentis* (L.) Kuntze y *Polypogon viridis* (Gouan) Breistr.). Todo ello nos invita a hacer un seguimiento de sus comunidades vegetales para entender mejor el grado de invasividad (*invasiveness*, sensu McClay et al., 2010, Gordon y Gantz, 2011) y daño que pueden estar causando estas especies de malezas previamente identificadas. Además, el Humedal de Santa Rosa presenta una zona de arroyo de desmonte dentro de la zona agrícola, al lado este (observación personal), que a largo plazo podría cambiar el uso de suelo y convertirse en zona urbana.

Durante los últimos 17 años, los incendios se vienen registrando en la mayoría de los humedales estudiados, como el caso de Laguna El Paraíso, Pantanos de Villa, Humedales de Puerto Viejo y Humedales de Ventanilla, siendo las principales causas: la quema por parte del manejo de flora como el junco, totora, y carricillo, la eliminación de plagas, la quema de residuos sólidos, actividades recreativas (fogatas) dentro de los humedales y la quema con fines invasores por parte de pobladores locales (Aponte et al., 2015; Ramírez

et al., 2018). A pesar del evidente impacto que estos siniestros ocasionan, es interesante rescatar que estos humedales tienden a recuperar su cobertura vegetal rápidamente (como en el caso reportado por Aponte et al., 2017) razón por la que quizá no esté afectando la cobertura vegetal a largo plazo, pero no necesariamente lo mismo está sucediendo a nivel de la biomasa (tal como se reporta en el caso de juncales incendiados en Pantanos de Villa, los cuales logran recuperar la cobertura, pero no la biomasa ni el consecuente stock de carbono (Ampuero y Aponte, 2020); por ello, es necesario realizar mapeos de estos eventos a fin de corroborar estas observaciones.

En el presente estudio fue posible encontrar algunas zonas en donde aumentó la cobertura vegetal. Un ejemplo, es el borde de las lagunas de la zona norte y sur del humedal de Laguna El Paraíso, los cuales se encuentran dominados por especies como *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla, *Typha domingensis* y *Schoenoplectus americanus* (Aponte y Ramírez, 2011) especies que pueden haber aumentado su cobertura por la estrategia de crecimiento clonal que presentan y la gran adaptabilidad a estos ecosistemas (como se reporta para *Schoenoplectus americanus*, Aponte, 2009). En el caso de Santa Rosa, la cobertura vegetal aumentó en el cuerpo de agua principal; a esta laguna llegan afluentes provenientes de actividades agrícolas y desagües conduciendo a la eutrofización (Verones et al., 2012; Loayza-Basan et al., 2018) lo que contribuye a la proliferación de plantas acuáticas como *Pistia stratiotes* L. y *Eichhornia crassipes* (Mart.) (Aponte y Ramírez, 2011; Castillo y Huamantínco, 2020). Es importante continuar el seguimiento espacial y de las variables abióticas (por ejemplo, el seguimiento de los cuerpos de agua y de la calidad de la misma en estos humedales) que pueden estar conllevando al aumento de la cobertura vegetal evaluando así si este patrón de crecimiento continúa en los próximos años para mantenerlo (si obtenemos beneficios de él) o controlarlo (si está afectando la calidad del ecosistema).

En otros humedales costeros del Perú los impactos antropogénicos son similares. Por ejemplo, en el humedal Chochoc, (Trujillo, Perú) existe una continua destrucción por parte de los pobladores, las lagunas del humedal se rellenan con residuos de construcción para lograr el secado del humedal, existen corrales de animales domésticos cercanos, ganadería (vacunos, ovinos), agricultura, entre otros (Ruiz-Santillán et al., 2019). Otro es el caso del Humedal de Carquín (Huaura, Lima) donde se han registrado algunas especies invasoras potenciales que pueden haber ingresado por los canales o por la interacción con los pobladores; en este caso particular, el uso del agua de los canales para lavandería puede contribuir al deterioro del humedal (Aponte y Cano, 2018).

Cabe mencionar que la disponibilidad de datos sobre la pérdida y extensión de los humedales para varias regiones como en el caso de América del Sur es escasa. El deterioro de estos humedales tendría relación con la mala planificación del uso de suelo (Junk et al., 2013). Estudios previos han mostrado una tendencia en la disminución del tamaño de los humedales costeros a nivel global (Davidson, 2014; Dixon et al., 2016; Davidson y Finlayson, 2018) y a nivel de América Latina (Rojas et al., 2020). Un ejemplo se observa en el humedal de Rocuant-Andalién (Chile), donde el área superficial del humedal ha disminuido en 10%, en un periodo de 10 años, debido al crecimiento urbano sobre el humedal (Rojas et al., 2019). Dicho resultado se asemeja con los obtenidos en el presente trabajo para los humedales de Puerto Viejo y Ventanilla.

En el presente estudio, la tasa de cambio promedio de los humedales que han disminuido (-0.64%/año) indican una menor reducción en estos ecosistemas con respecto a la tendencia mundial (-1.08% anual, estimada para el siglo XX y principios del XXI para los humedales del mundo; Davidson, 2014); la diferencia es mayor si comparamos el promedio de todos los humedales evaluados (+0.14% anual) con la misma cifra mundial

o con la tasa de pérdida anual desde el año 2000 (que ese encuentra entre -0.85% y -1.60% anual; RAMSAR, 2018). Todo ello, nos llevaría a pensar que los humedales evaluados se encuentran en mejores condiciones que los del resto del mundo; sin embargo, si verificamos las tasas por localidad, vemos que existen casos (como en Humedales de Ventanilla) donde la disminución se encuentra dentro de las tendencias. Esto nos invita a tomar los resultados con cautela y sugiere evaluar la evolución de los humedales de manera local.

El estado peruano ha tomado medidas para proteger algunos humedales; entre ellos, la Estrategia Nacional de Humedales, la cual tiene como objetivo establecer un marco de políticas y proponer actividades que promuevan el uso sostenible y la protección de los humedales y sus recursos como aporte al desarrollo integral del país (MINAM, 2014). Como se mencionó anteriormente, una de las estrategias que parece tener éxito es la protección de estos ecosistemas por medio de la creación de reservas regionales. El presente estudio sienta las bases para entender algunos de los cambios en las áreas y en su cobertura vegetal y brinda información que estamos seguros será de utilidad para la toma de decisiones, planificación y gestión de estos ecosistemas de la costa de Lima.

5. Conclusiones

El presente trabajo indica un aumento del área total y de la cobertura vegetal para los humedales de Albufera de Medio Mundo y Laguna El Paraíso; mientras que los humedales de Ventanilla y Puerto Viejo presentaron una disminución en el área total y la cobertura vegetal en el periodo estudiado. Entre las potenciales razones por las cuales han ocurrido las disminuciones se encuentran el crecimiento urbano y el establecimiento de zonas agrícolas, como también otros impulsores de cambio identificados de manera particular para cada humedal evaluado.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a Piero Villegas e Irene Castro por haber hecho llegar sus sugerencias, comentarios y recomendaciones para el presente estudio.

Referencia

Ampuero, W., Aponte, H., 2020. Estimación del carbono almacenado en un juncal de *Schoenoplectus americanus* en el humedal costero Los Pantanos de Villa (Lima-Perú). *Arnaldoa*, 27(1), 157-164.

Aponte, H., 2009. El junco. Clasificación, Biología y gestión. *Revista Científica*, 6(1), 38-45.

Aponte, H., 2017. *Humedales de la Costa Central del Perú: Un diagnóstico de los humedales de Santa Rosa, laguna El Paraíso y Albufera de Medio Mundo, Humedales de la Costa Central del Perú*. Lima-Perú: CooperAcción.

Aponte, H., Apeño, A., 2019. Riqueza de flora vascular de los humedales costeros de Lima: Una aproximación utilizando estimadores no paramétricos. *Arnaldoa*, 26(1), 131-138.

Aponte, H., Cano, A., 2013. Estudio florístico comparativo de seis humedales de la costa de Lima (Perú): Actualización y nuevos retos para su conservación. *Revista Latinoamericana de Conservación Latin American Journal of Conservation*, 3(2), 15-27.

Aponte, H., Cano, A., 2018. Flora vascular del Humedal de Carquín-Hualmay, Huaura (Lima, Perú). *Ecología Aplicada*, 17(1), 69-76.

Aponte, H., Ramírez, D.W., 2011. Humedales de la costa central del Perú: estructura y amenazas de sus comunidades vegetales. *Ecología Aplicada*, 10 (1), 31-39.

Aponte H., Ramírez D.W., 2014. Riqueza florística y estado de conservación del área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla (Callao, Perú). *Biologist* (Lima), 12(2), 270–282.

Aponte, H., Ramírez, D.W., Lértora, G., Vargas, R., Fernando, G., Carazas, N. & Liviach, R., 2015. Incendios en los Humedales de la Costa Central del Perú: Una amenaza frecuente. *Científica*, 12(1), 70-81.

Aponte, H., Ramírez, D.W., Vargas, R., 2017. Primeros estadios en la regeneración natural de la vegetación post-incendio en los Humedales de Ventanilla (Lima-Perú). *Ecología Aplicada*, 16(1), 23-30.

Castillo-Velásquez, R.M., Huamantínco-Araujo, A.A., 2020. Variación espacial de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la zona litoral del humedal costero Santa Rosa, Lima, Perú. *Revista de Biología Tropical*, 68(1), 50-68.

Chuvieco, E., Deshayes, M., Stach, N., Cocero, D., Riaño, D., 1999. *Short-term fire risk: foliage moisture content estimation from satellite data. In Remote Sensing of Large Wildfires*. Berlin: Springer.

Condori-Luna, I., Loza-Murguía, M., Mamani-Pati, F., Solíz-Valdivia, H., 2018. Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología de teledetección espacial y SIG en la sub-cuenca del río Coroico - provincia Caranavi en los años 1989 - 2014. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9(1), 25-44.

Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R., Sutton, P., Marjan Van Den, C., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(1), 253-260.

Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., Van Der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, S., Turner, R.K., 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environ Change*, 26(1), 152–158.

Davidson, N. C., 2014. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65(1), 934–941.

Davidson, N. C., Finlayson, C. M., 2018. Extent, regional distribution and changes in area of different classes of wetland. *Marine and Freshwater Research*, 69(1), 1525-1533.

De Groot, R., Stuij, M., Finlayson, M., Davidson, N., 2007. Valoración de humedales: lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales. Informe Técnico de Ramsar núm. 3.

Dixon, M. J. R., Loh, J., Davidson, N. C., Beltrame, C., Freeman, R., Walpole, M., 2016. Tracking global change in ecosystem area: the wetland extent trends index. *Biological Conservation* 193(1), 27–35.

Farber, S. C., Costanza, R., Wilson, M. A., 2002. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological economics*, 41(3), 375-392.

Finlayson, C.M., D'Cruz, R., 2005. Chapter 20 inland water systems. In: Hassan, R., Scholes, R., Ash, N. (Eds). *Ecosystems and human well-being: current state and trends: findings of the Conditions and Trends Working Group*. Washington DC: Island Press.

Flores, N., Castro, I., Aponte, H., 2020. Evaluación de las unidades de vegetación en Los Pantanos De Villa (Lima, Perú) mediante sistemas de información geográfica y teledetección. *Arnaldoa*, 27(1), 176-185.

Gonzales, S., Aponte, H., Cano, A. 2019. Actualización de la flora vascular del humedal Santa Rosa-Chancay (Lima, Perú). *Arnaldoa*, 26(3), 867-882.

Gordon, D. R., Gantz, C. A., 2011. Risk assessment for invasiveness differs for aquatic and terrestrial plant species. *Biological Invasions*, 13(1), 1829–1842.

Hernández, C. G., Escribano, J. A., Tarquis, Y., 2014. Comparación del índice de vegetación de diferencia normalizada obtenido a diferentes escalas en pastos de dehesa. *PASTOS Y PAC*, 121-128.

Junk, W. J., An, S., Finlayson, C. M., Gopal, B., Květ, J., Mitchell, S. A., Robarts, R. D., 2013. Current state of knowledge regarding the world's wetlands and their future under global climate change: a synthesis. *Aquatic sciences*, 75(1), 151-167.

Lehner, B., Döll, P., 2004. Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. *Journal of hydrology*, 296(1-4), 1-22.

Loayza-Basan, K., Castillejos-Paniagua, K., Mestas-Valero, R., Quiliche-Duran, J. P. J., 2018. Estudio de la teledetección y caracterización fisicoquímica del humedal "El Cascajo", Santa Rosa, Chancay-Lima, Perú. *INFINITUM...*, 7(1), 52-58.

Lowry, J., 2007. La utilización de programas y datos de SIG de bajo costo para el inventario, la evaluación y el monitoreo de humedales. Informe Técnico de Ramsar núm. 2. Secretaria de la Convención de Ramsar. Suiza.

MacKay, H., Finlayson, C. M., Fernandez-Prieto, D., Davidson, N., Pritchard, D., Rebelo, L. M., 2009. The role of Earth Observation (EO) technologies in supporting implementation of the Ramsar Convention on Wetlands. *Journal of environmental management*, 90(7), 2234-2242.

McClay, A., Sissons, A., Wilson, C., Davis, S., 2010. Evaluation of the Australian weed risk assessment system for the prediction of plant invasiveness in Canada. *Biological Invasions*, 12(1), 4085-4098.

MINAM, 2014. Estrategia Nacional de Humedales. Dirección General de Diversidad Biológica. Perú.

Mitsch, W.J., Gosselink, J.G., 1993. Wetlands, 2nd Edition. Van Nostrand Reinhold Co., New York, NY, USA.

Moschella, P., 2012. Variación y protección de humedales costeros frente a procesos de urbanización: Casos Ventanilla y Puerto Viejo. (Tesis de Maestría). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Pacheco, V., Zevallos, A., Cervantes, K., 2015. Mamíferos del Refugio de Vida Silvestre Pantanos de Villa, Lima-Perú. *Científica*, 12(1), 26-41.

Pulido, V., Salinas, L., del Pino, J., Arana, C., 2020. Preferencia de hábitats y estacionalidad de las especies de aves de los Pantanos de Villa en Lima, Perú. *Revista peruana de biología*, 27(3), 349-360.

Ramírez, D.W., Aponte, H., 2018. Por qué los Humedales de Puerto Viejo perdieron su protección legal: analizando los motivos. *Revista Peruana de Biología*, 25(1), 49-54.

Ramírez, D.W., Aponte, H., Cano, A., 2010. Flora vascular y vegetación del humedal de Santa Rosa (Chancay, Lima). *Revista peruana de biología*, 7(1), 105-110.

Ramírez, D.W., Aponte, H., Lertora, G., Gil, F., 2018. Incendios en el humedal Ramsar Los Pantanos de Villa (Lima-Perú): Avances en su conocimiento y perspectivas futuras. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(3), 347-360.

Ramírez, D. W., Cano, A., 2010. Estado de la diversidad de la flora vascular de los Pantanos de Villa (Lima-Perú). *Revista Peruana de Biología*, 17(1), 111-114.

RAMSAR, 2018. Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas. Gland (Suiza). Secretaría de la Convención de RAMSAR.

Rebelo, L.-M., Finlayson, C.M., Strauch, A., Rosenqvist, A., Perennou, C., Tøttrup, C., Hilarides, L., Paganini, M., Wielaard, N., Siegert, F., Ballhorn, U., Navratil, P., Franke, J., Davidson, N., 2018. The use of Earth Observation for wetland inventory, assessment and monitoring: An information source for the Ramsar Convention on Wetlands. Ramsar Technical Report No.10. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat.

Rojas, C., Aldana-Domínguez, J., Munizaga, J., Moschella, P., Martínez, C., Stamm, C., 2020, Urban Wetland Trends in Three Latin American Cities during the Latest Decades (2002-2019): Concón (Chile), Barranquilla (Colombia), and Lima (Peru). *Wetland Science & Practice*, 37(4), 283-293.

Rojas, C., Munizaga, J., Rojas, O., Martínez, C., Pino, J., 2019. Urban development versus wetland loss in a coastal Latin American city: Lessons for sustainable land use planning. *Land Use Policy*, 80(1), 47-56.

Ruiz-Santillán, M. P., Rodríguez, E. H., Coico, F. M., 2020. Diagnóstico ecológico del humedal Chochoc. *REBIOL*, 39(2), 3-18.

Tovar, C. M., 2012. El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. *Unasylva: revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, 238(1), 39-46.

Verones, F., Bartl, K., Pfister, S., Jiménez Vilchez, R., Hellweg, S., 2012. Modeling the local biodiversity impacts of agricultural water use: case study of a wetland in the coastal arid area of Peru. *Environmental science & technology*, 46(9), 4966-4974.

TABLA 1. Fecha de obtención de imágenes satelitales y escala (Google Earth) de cada humedal para los periodos 2002 y 2019

Humedales	Landsat 7 ETM+	Escala 2002	Landsat 8 OLI-TIRS	Escala 2019
Albufera de Medio Mundo	9/02/2002	1:800	16/02/2019	1:700
Laguna El Paraíso	22/03/2002	1: 1300	16/02/2019	1:1300
Humedal Santa Rosa	9/02/2002	1:700	16/02/2019	1:700
Humedales de Ventanilla	9/02/2002	1:500	16/02/2019	1:400
Humedales de Puerto Viejo	9/02/2002	1:700	14/04/2019	1:500

TABLA 2. Área total, variación multitemporal y tasa de cambio de los humedales para los periodos 2002 y 2019

Humedales	Superficie (ha)		Variación del área		Tasa de Cambio
	2002	2019	ha	%	%/año
Albufera de Medio Mundo	440.95	606.34	+165.39	+ 37.51	+2.21
Laguna El Paraíso	613.3	652.56	+39.26	+ 6.40	+0.38
Humedal Santa Rosa	63	61	-2	-3.17	-0.19
Humedales de Ventanilla	355.9	278.04	-77.86	-21.88	-1.29
Humedales de Puerto Viejo	291.98	270.45	-21.53	-7.37	-0.43

ha: hectáreas

TABLA 3. Cobertura vegetal, variación multitemporal y tasa de cambio de los humedales para los periodos 2002 y 2019

Humedales	Cobertura vegetal (ha)		Variación de la cobertura		Tasa de Cambio
	2002	2019	ha	%	%/año
Albufera de Medio Mundo	239.11	362.35	+123.24	+51.54	+3.03
Laguna El Paraíso	367.36	463	+95.64	+26.03	+1.53
Humedal Santa Rosa	42.25	47.47	+5.22	+12.36	+0.73
Humedales de Ventanilla	286.96	267.95	-19.01	-6.62	-0.39
Los Pantanos de Villa	230.39*	188.63*	-41.76	-18.13	-1.07
Humedales de Puerto Viejo	265.11	261.56	-3.55	-1.34	-0.08

ha: hectáreas

* Los datos tomados de Flores et al., 2020

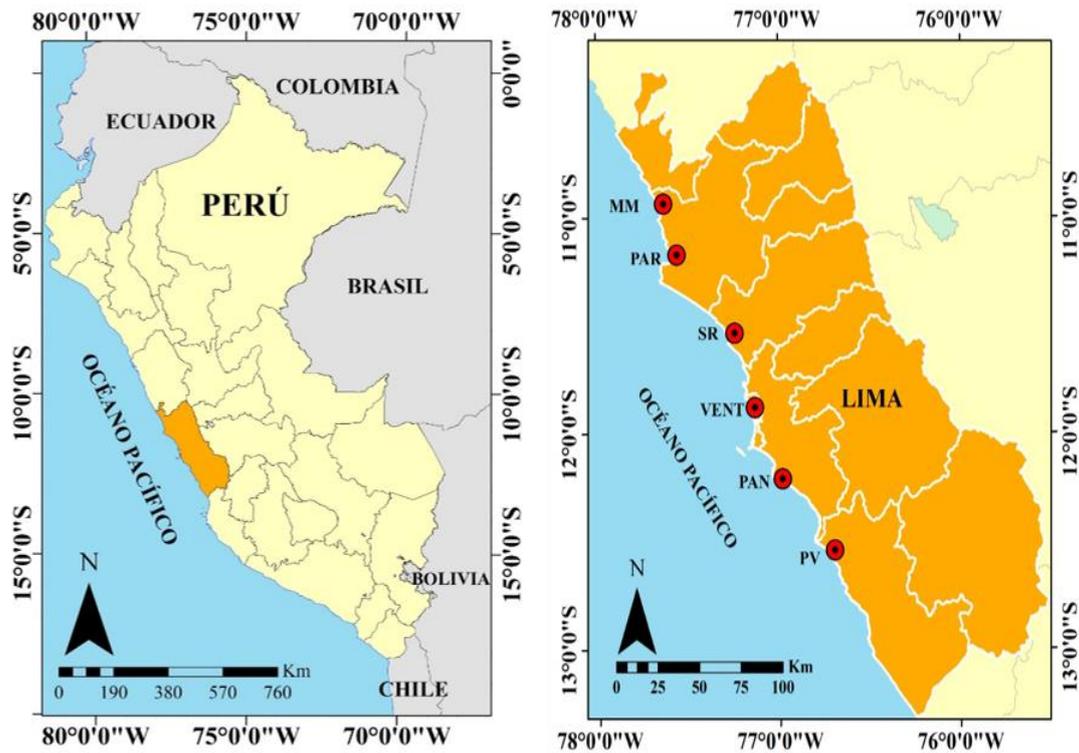


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. A la izquierda, el mapa del Perú y en naranja el departamento de Lima. La ubicación de los humedales costeros se encuentra señalados en el mapa de la derecha, donde MM: Albufera de Medio Mundo; PAR: Laguna El Paraíso; PV: Humedales de Puerto Viejo; SR: Humedal Santa Rosa; VEN: Humedales de Ventanilla y PAN: Pantanos de Villa.

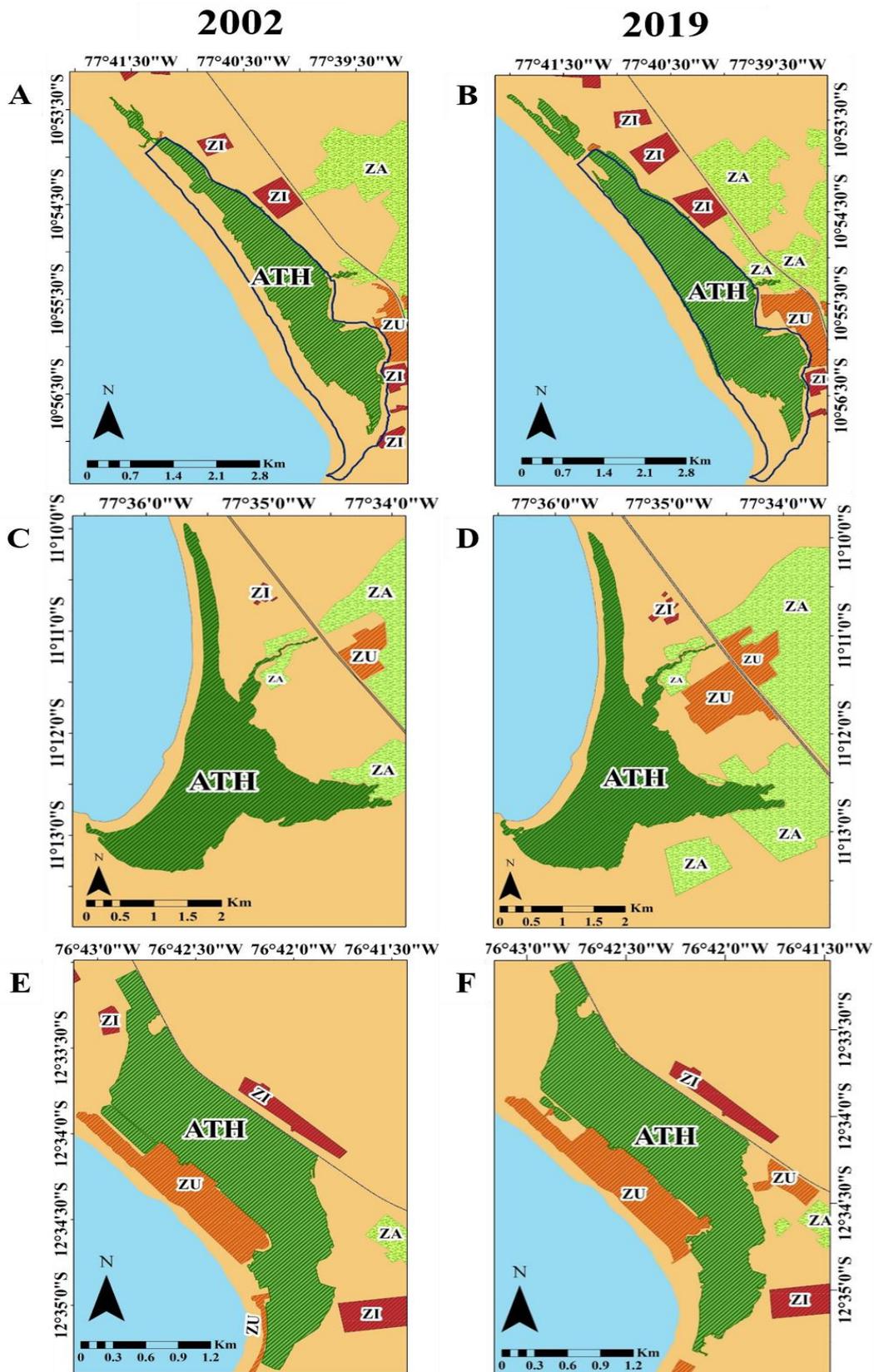


Figura 2. Mapa multitemporal del área total de los humedales (ATH): Albufera de Medio Mundo (A y B), Laguna El Paraíso (C y D) y Humedales de Puerto Viejo (E y F). Las siglas hacen referencia a: ZU= Zona Urbana; ZI= Zona Industrial; ZA= Zona Agrícola y el trazo azul corresponde al territorio categorizado como Área de Conservación Regional (ACR).

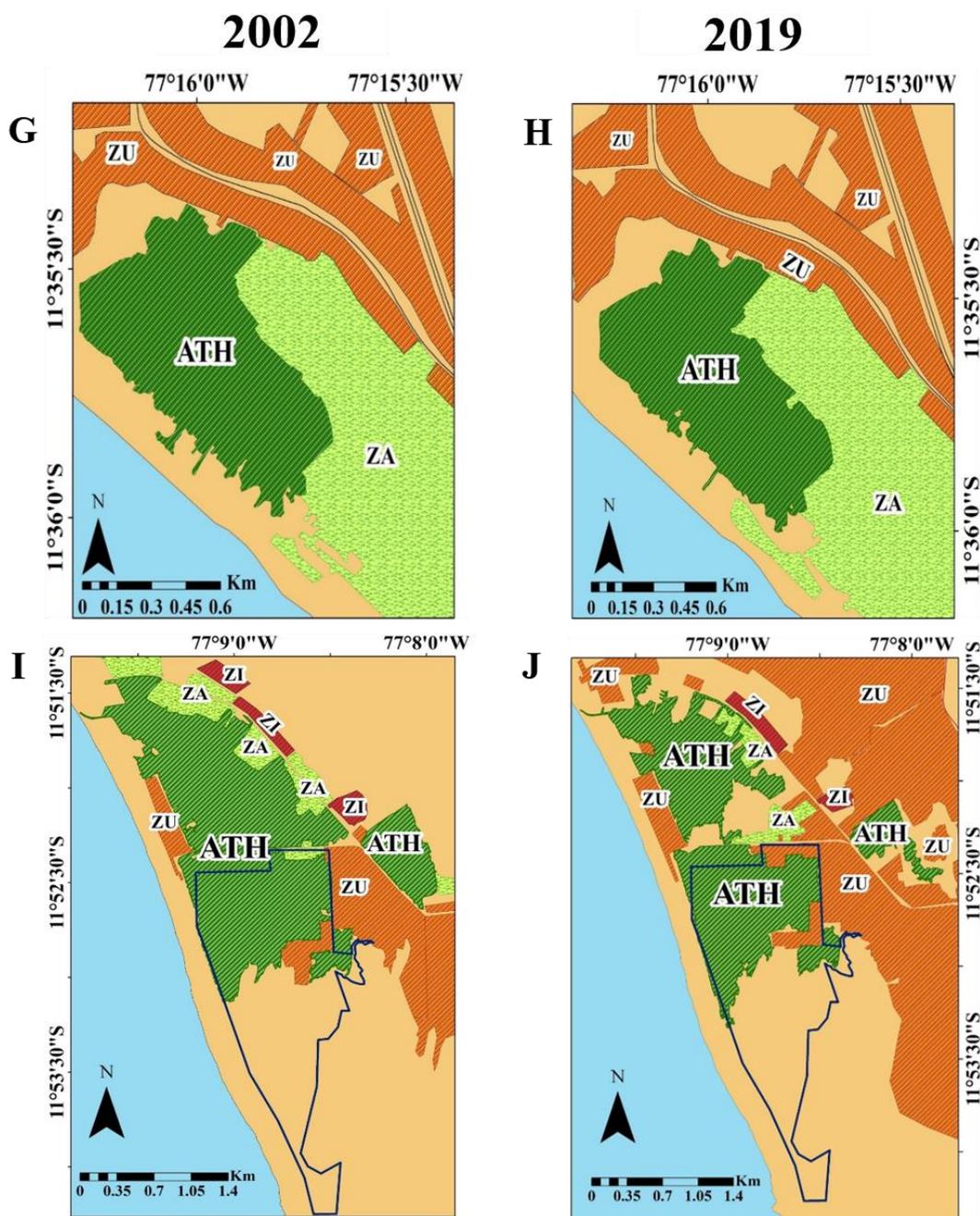


Figura 3. Mapa multitemporal del área total de los humedales (ATH): Humedal Santa Rosa (G y H) y Humedales de Ventanilla (I y J). Las siglas hacen referencia a: ZU= Zona Urbana; ZI= Zona Industrial; ZA= Zona Agrícola, para el Humedal de Santa Rosa esta zona contiene también algunos parches de desmonte y restos arqueológicos; el trazo azul corresponde al territorio categorizado como Área de Conservación Regional (ACR).

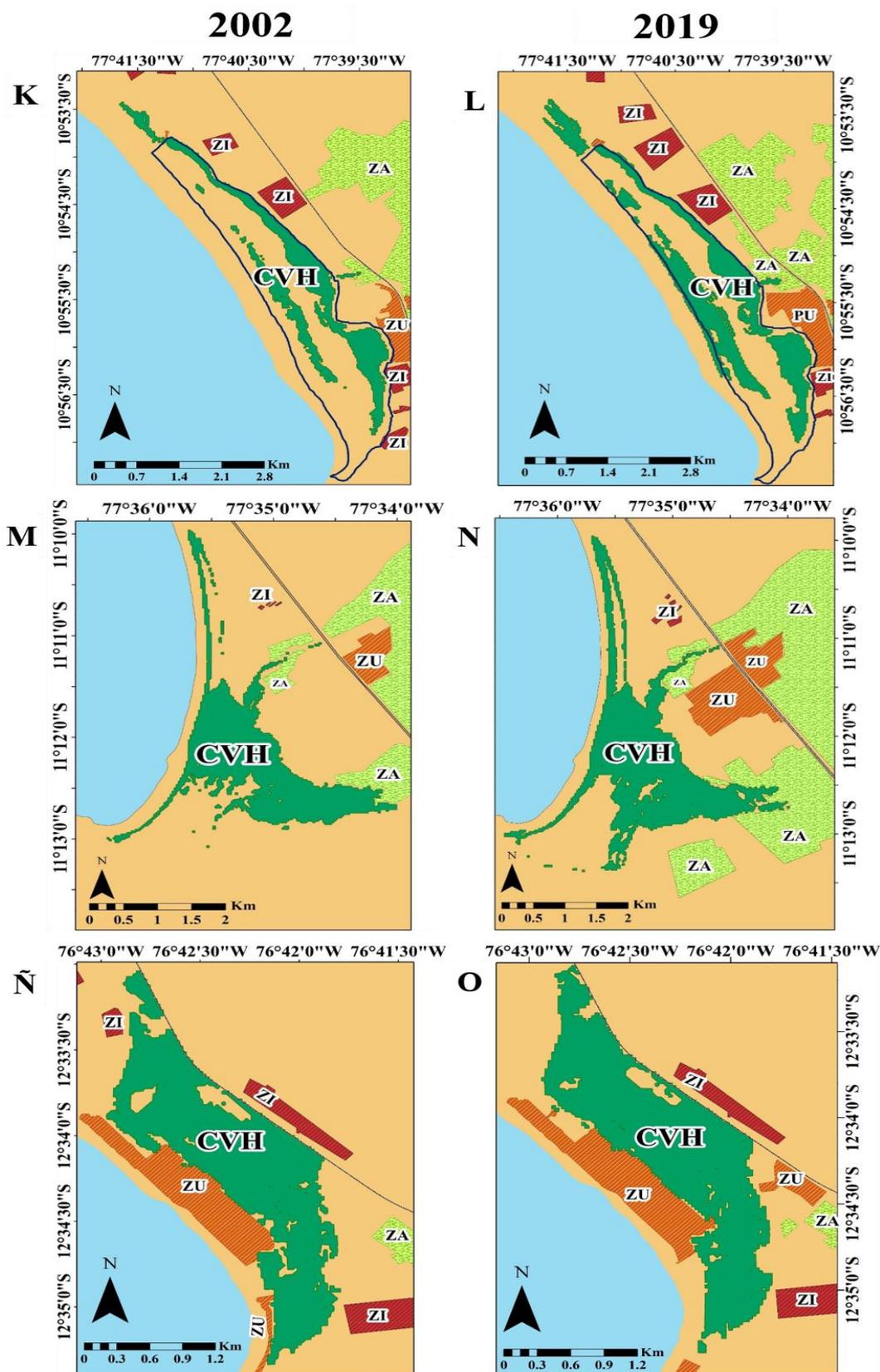


Figura 4. Mapa multitemporal de la cobertura vegetal (CVH) de los humedales de Albufera de Medio Mundos (K y L), Laguna El Paraíso (M y N), Humedales de Puerto Viejo (Ñ y O). Las siglas hacen referencia a: ZU= Zona Urbana; ZI= Zona Industrial; ZA= Zona Agrícola y el trazo azul corresponde al territorio categorizado como Área de Conservación Regional (ACR).

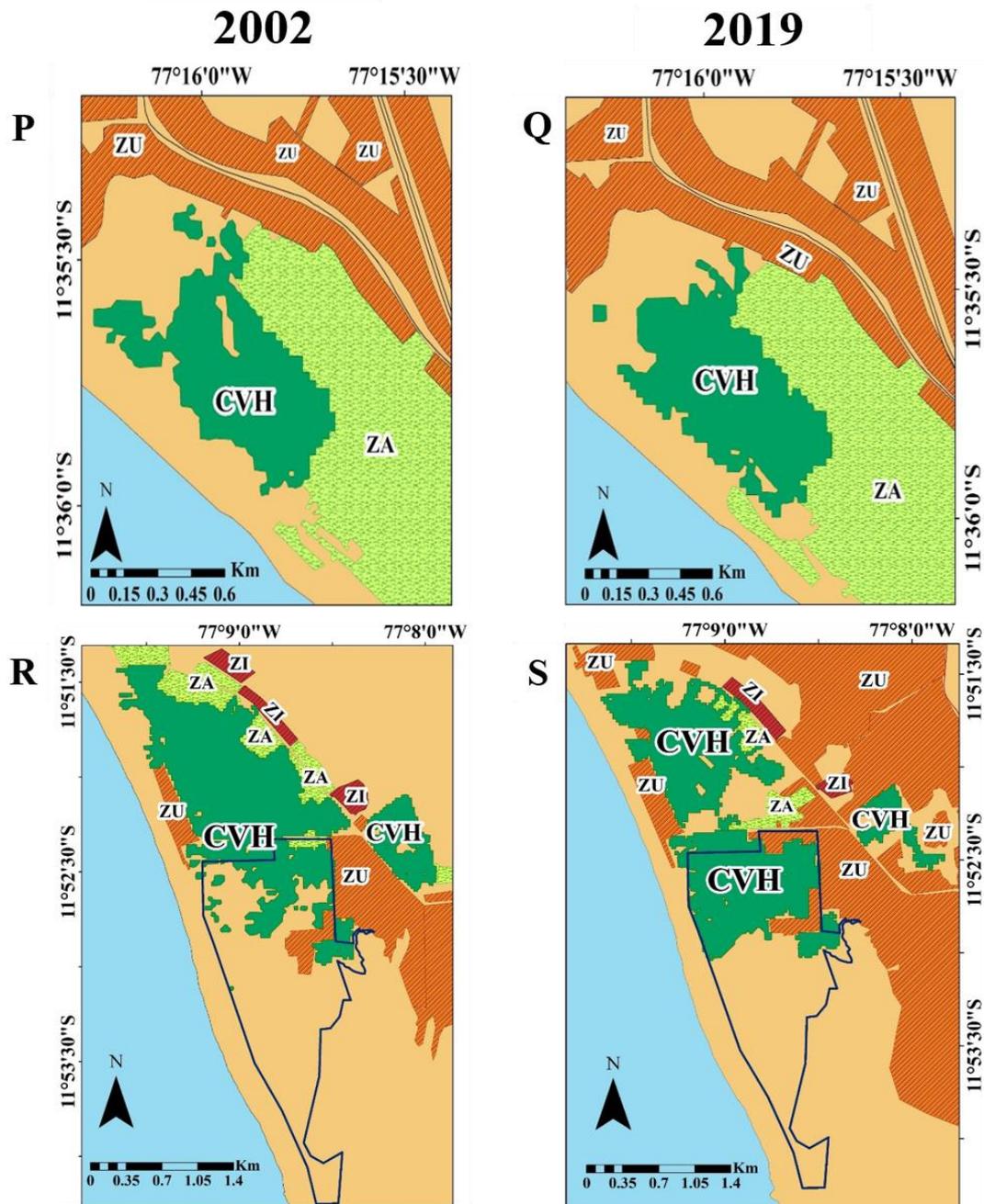


Figura 5. Mapa multitemporal de la cobertura vegetal (CVH) del Humedal de Santa Rosa (P y Q) y Humedales de Ventanilla (R y S). Las siglas hacen referencia a: ZU= Zona Urbana; ZI= Zona Industrial; ZA= Zona Agrícola para el Humedal de Santa Rosa esta zona contiene también algunos parches de desmonte y restos arqueológicos; el trazo azul corresponde al territorio categorizado como Área de Conservación Regional (ACR).