



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú



IGP

Instituto
Geofísico
del Perú

Programa Presupuestal 144:
"Conservación y uso sostenible de ecosistemas para la provisión de servicios ecosistémicos"

HUMEDALES COSTEROS DEL PERÚ ALBUFERA PARAÍSO - HUACHO

Informe Técnico Especial



Lima - Perú

Diciembre - 2021

Rubén Ramírez Mateo

Ministro del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú:

Hernando Tavera Huarache

Presidente Ejecutivo

Edmundo Norabuena Ortiz

Director Científico

Danny Scipión Castillo

Director de Geofísica y Sociedad

Autores del material:

Alejandra Martínez

Danny Scipión Castillo

Oficina funcional de comunicaciones:

Gianna Faccin Zaconett

Directora Creativa

Martín Gonzales Vicente

Coordinación de estilo

Patricia Maguiña Flores

Servicio externo de diagramación y retoque fotográfico

Carátula: Fotografía alrededor de los puntos coordenados tomados en campo

Lima, Diciembre de 2021

Humedales costeros del Perú: Albufera Paraíso - Huacho

Informe Técnico Especial

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú Nro. 2021-14308

ISBN: 978-612-47606-8-6

Primera edición: diciembre 2021

Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa, Ate, Lima 15074, Perú

Central telefónica: +51 1 317-2300

www.gob.pe/igp

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
PARTE I: HUMEDALES COSTEROS	7
Impactos del cambio climático en los humedales costeros A. Martínez con la colaboración de la Dirección de Adaptación al Cambio Climático y Vulnerabilidad - MINAM	11
PARTE II: HUMEDAL EL PARAÍSO – HUACHO.....	26
Propuesta de delimitación de la extensión del humedal El Paraíso J. Guerrero y R. Príncipe	31
Análisis de la cobertura vegetal en el humedal El Paraíso R. Príncipe	49
Análisis temporal de la vegetación en el humedal El Paraíso R. Príncipe y L. Céspedes	64
Origen geológico del humedal El Paraíso y análisis multitemporal mediante teledetección para el periodo 1986-2020 B. Báez, R. Príncipe y J. C. Gómez	79
Vulnerabilidad socioeconómica y cultural en la gestión de la albufera Paraíso D. Ruiz y A. Martínez	97



Introducción

El programa presupuestal 0144 “Conservación y uso sostenible de ecosistemas para la provisión de servicios ecosistémicos” tiene como objetivo lograr la conservación y uso sostenible de los ecosistemas naturales del país que son proveedores de servicios ecosistémicos, en la búsqueda de que autoridades y tomadores de decisiones cuenten con instrumentos y capacidades que permitan la recuperación, conservación y aprovechamiento sostenible de los ecosistemas.

La función del Instituto Geofísico del Perú (IGP) en el marco de este programa presupuestal es la de generar conocimiento sobre los peligros geofísicos que amenazan a los ecosistemas, para contribuir con su conservación y uso sostenible.

La función del IGP en el marco de este programa presupuestal es la de generar conocimiento sobre los peligros geofísicos que amenazan a los ecosistemas, para contribuir con su conservación y uso sostenible. Esto es especialmente crítico en un país como Perú, con una alta diversidad biológica y donde se han identificado cuarentaidós ecosistemas (MINAM, 2019), divididos en las regiones selva tropical, yunga, andina, costa, y ecosistemas acuáticos y sistemas intervenidos, pero sobre los

cuales aún existe una brecha en investigación. En ese sentido, el IGP busca que los diferentes actores de los diferentes niveles de gobierno cuenten con la información necesaria sobre peligros geofísicos que permitan la recuperación, conservación y aprovechamiento sostenible de los ecosistemas y los servicios ecosistémicos que brindan tomando en cuenta la gestión del riesgo de desastres. El concepto de servicios ecosistémicos se ha convertido en un modelo importante para vincular el funcionamiento de los ecosistemas con el bienestar humano, y comprender este enlace es fundamental para la toma de decisiones (Fisher, Turner & Morling, 2009) pues pone en evidencia la importancia que tienen los sistemas ecológicos y las reservas de capital natural del territorio, y que contribuyen al bienestar humano, tanto directa como indirectamente (Constanza et al., 1997).

Para el periodo 2020-21, el foco del trabajo del IGP estará centrado en los ecosistemas de humedales costeros, y en coordinación con la Dirección General de Diversidad Biológica ha venido trabajando para generar información sobre el humedal El Paraíso de Huacho, que se espera sirva como piloto del desarrollo de temas de investigación vinculadas a la gestión del riesgo de desastres en estos ecosistemas.

Instituto Geofísico del Perú

Referencias

MINAM (2019). Mapa de Ecosistemas del Perú. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/315991/Documento_MapadeEcosistemas.pdf

Fisher, B., Turner, R. K. and P. Morling (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, Volume 68, Issue 3., 643-653.

Constanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P. and M. van den Belt (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253-260.

PRIMERA PARTE

**HUMEDALES
COSTEROS
DEL PERÚ**

Los humedales costeros son “extensiones o superficies cubiertas o saturadas de agua, bajo un régimen hídrico natural o artificial, permanente o temporal, dulce, salobre o salado, y que albergan comunidades biológicas características y se hallan a lo largo del litoral costero y marítimo” (MINAM, 2019), e incluyen a los manglares, lagunas, estuarios, albuferas, deltas, oasis, y pantanos y salinas

En general los humedales, son ecosistemas con una fragilidad inherente, que se ubican en una posición transicional entre ambientes acuáticos y terrestres, y brindan servicios esenciales para la vida en el planeta, pues proveen de hábitats a muchas especies de flora y fauna; sirven de barrera

natural ante eventos extremos como precipitaciones intensas, tormentas y huracanes, así como ante la erosión; provee de estabilización y retención de nutrientes al suelo; regula y controla los flujos de agua; son importantes sumideros de carbono y pueden constituir un elemento de importancia para las acciones de mitigación; y además brindan beneficios a las sociedades que habitan cerca a ellos de combustible, forraje, madera, peces, entre muchos otros (Wolanski et al., 2008; Barbier, 2018). En la Tabla 1 se presenta un listado de los servicios ecosistémicos provistos por los humedales de acuerdo con las categorías propuestas por el Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005), según la interpretación de Mitsch, Bernal y Hernández (2015).

Tabla 1. Servicios ecosistémicos de humedales basados en las categorías del Millennium Ecosystem Assessment

Servicios de provisión	<ul style="list-style-type: none"> Apoyo a la pesca Producción de pieles y otros productos animales Producción de madera Producción alimentaria directa
Servicios de regulación	<ul style="list-style-type: none"> Mejora de la calidad del agua Mitigación de inundaciones de ríos Protección de las costas contra tsunamis, ciclones y otros eventos costeros Secuestro de carbono Hábitat de especies raras y en peligro de extinción
Servicios culturales	<ul style="list-style-type: none"> Estética del paisaje Sitios para la relajación humana Educación en ecología Sustento de las culturas humanas Ecoturismo, avistamiento de aves Servicios de apoyo
Servicios de soporte	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo de suelos hídricos, productividad, fuentes químicas, sumideros y almacenamiento de agua

Tomado de: Mitsch, Bernal y Hernandez (2005).

A pesar de todos estos beneficios, en los últimos dos siglos se han visto degradados como resultado de las actividades antrópicas y se ubican entre los ecosistemas más amenazados del planeta, y una gran proporción de humedales se han perdido, probablemente en forma irremediable (Maynard y Wilcox, 1997; Constanza et al., 2008, Barbier, 2018), es así que cerca de un cuarto de los manglares del mundo se han perdido debido a la acción humana a través de su conversión a la acuicultura, agricultura y otros usos urbanos (Barbier, 2018).

Probablemente, una de las principales causas de esta situación es la dificultad para comunicar la importancia de los humedales costeros, debido a que existen múltiples actores involucrados en su gestión, y por consiguiente requiere de una gobernanza ambiental articulada y promover un trabajo coordinado; otra causa relevante es la subestimación de la importancia de su conservación a largo plazo, en contraposición a la posibilidad de sobreexplotarlos en el corto plazo para alentar

actividades económicas de alta rentabilidad inmediata, pero poco duraderas (Wolanski et al., 2018), por ello es crítico trabajar en su conservación con una visión de gestión integral que considere la variabilidad de estos ecosistemas, de sus actores y su distribución que no responde a límites administrativos..

En Perú, la superficie estimada de los humedales costeros representa un 0,05 % del territorio, con una extensión aproximada de 63 712,65 ha, estos ecosistemas proveen de importantes servicios ecosistémicos a las poblaciones que los rodean, incluyendo la belleza paisajística y su aprovechamiento turístico. Algunos de los problemas para la efectiva gestión de los humedales costeros incluyen la tenencia con los cambios informales en el uso de la tierra, el escaso manejo de residuos sólidos generados por las poblaciones asentadas en sus cercanías, como por la actividad turística local; así como prácticas inadecuadas en las actividades de agricultura y acuicultura que puede generar tanto la desecación como polución de sus aguas.

Dirección General de Diversidad Biológica –
MINAM

Referencias

Barbier, E. B. (2018). The Value of Coastal Wetland Ecosystem Services. Chapter 27, 947-964 pp. In *Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach*. Perillo, G. M. E., Wolanski, E., Cahoon D. R. and C. S. Hopkins, editores.

Costanza, R., Pérez-Maqueo, O., Martinez, M. L., Sutton, P., Anderson, S. J. and K. Mulder. (2008) "The Value of Coastal Wetlands for Hurricane Protection," *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 37(4), 241-248. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2008\)37\[241:TVOCWF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2008)37[241:TVOCWF]2.0.CO;2)

Maynard, L. y D. A. Wilcox. (1997). *Coastal Wetlands. Technical Report*. Recuperado de: https://digitalcommons.brockport.edu/tech_rep/58/

MINAM. (2019). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú – Memoria Descriptiva*. 116 pp.

Mitsch, W., Bernal, B., y M. E. Hernandez. (2015). Ecosystem services of wetlands. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*. 11:1, 1-4. <https://doi.org/10.1080/21513732.2015.1006250>

Wolanski, E., Brinson, M. M., Cahoon, D. R. and Perillo G. M. E. (2018). *Coastal Wetlands: A Synthesis*. Chapter 1. 1-62 pags. In *Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach*. Perillo, G. M. E., Wolanski, E., Cahoon D. R. and C. S. Hopkins, editores.

Impacto del cambio climático en los humedales costeros

A. Martínez¹ con la colaboración de la Dirección de Adaptación al Cambio Climático y Vulnerabilidad - MINAM

RESUMEN

Los humedales son ecosistemas frágiles que brindan servicios esenciales para la vida en el planeta (Ramsar, 2015), y que sin embargo se ven amenazados por la extracción intensiva de los recursos naturales a través de actividades como la extracción indiscriminada de flora y fauna, la utilización inadecuada del agua, contaminación, y aumento de la población que genera cambios en el uso de la tierra (Moya, Hernández y Elizalde, 2005) (Pronaturaleza, 2010). Si bien juegan un rol crítico en la protección de las comunidades ante el cambio climático –al ser una barrera ante eventos como tormentas, lluvias intensa y huracanes–, al mismo tiempo son vulnerables a esos mismos cambios, debido principalmente a su pequeña extensión y particularidades biofísicas y socioeconómicas (Moomaw, 2018). El Tercer Informe de Evaluación el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) concluyó que los humedales figuran entre los sistemas naturales especialmente vulnerables al cambio climático debido a su escasa capacidad de adaptación, y

que pueden sufrir daños apreciables e irreversibles (IPCC, 2001).

A nivel nacional se han hecho importantes avances en la institucionalidad y la gestión del cambio climático, que incluyen metas de mitigación y adaptación de largo plazo bajo un esquema altamente participativo (iNDC) y que además cuentan con un fuerte soporte político y técnico (Pulgar-Vidal, 2016). Esta agenda promovida por el MINAM como autoridad nacional en cambio climático incluye la aprobación de la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático (ENCC) en el 2015, la actual elaboración del Plan Nacional de Adaptación (2021), así como el involucramiento de autoridades sectoriales y regionales, y la participación activa de la Comisión Nacional sobre Cambio Climático, la Comisión de Alto Nivel sobre Cambio Climático y la Plataforma de Pueblos Indígenas y Originarios sobre Cambio Climático entre varias otras acciones e iniciativas.

Palabras clave: Cambio climático, Impactos, Humedales costeros, El Niño.

¹ Instituto Geofísico del Perú – amartinez@igp.gob.pe

1. INTRODUCCIÓN

La contribución de los humedales de para combatir el cambio climático ha sido ampliamente estudiada, y tanto las turberas como los humedales costeros con vegetación están entre los sumideros más ricos en carbono del planeta, llegando a secuestrar casi tanto carbono como los ecosistemas forestales mundiales, por lo que evitar su desaparición es clave para el futuro del planeta (Moomaw et al., 2018); sin embargo, los humedales han disminuido, tanto en extensión como en calidad hasta en un 40% en todo el mundo a lo largo de los últimos 40 años (Gardner et al, 2015; Leadley et al., 2014).

De acuerdo a uno de los últimos informes especiales del IPCC "Calentamiento global de 1,5°C - Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en

el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza" (IPCC, 2018), las actividades humanas ya han causado un calentamiento global de aproximadamente 1,0 °C con respecto a los niveles preindustriales, y se tiene un nivel de confianza alto en que éste llegue a 1,5°C entre el año 2030 y el 2052.

En la Figura 1 se observa el cambio en la temperatura global observada –que ya ha provocado cambios sin precedentes en el planeta, los que incluyen el calentamiento de la atmósfera y el océano, la disminución de los volúmenes de nieve y hielo, la elevación del nivel del mar, y el continuo aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2013)–, y las estimaciones para el año 2100.

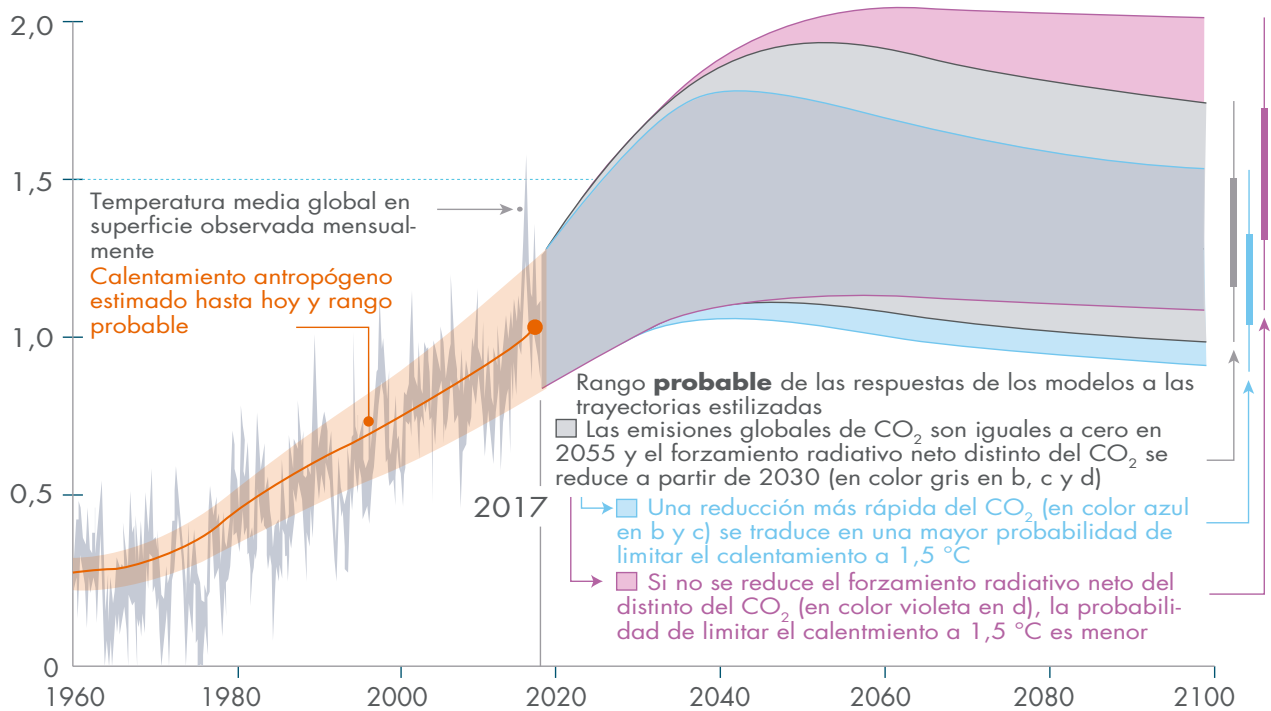


Figura 1. Cambio en la temperatura global observada y respuestas de los modelos² a las trayectorias de las emisiones antropogénicas y del forzamiento (Calentamiento global con respecto a 1850-1900 en °C).

Tomado de: (IPCC, 2018).

2. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ECOSISTEMAS COSTEROS A NIVEL GLOBAL

El Tercer Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2013) brinda un marco para identificar y resumir los principales impactos y riesgos del cambio climático para los sectores y regiones, los que se muestran en la Figura 2, donde se observa que varios de los sistemas naturales, gestionados y humanos que tendrían un mayor impacto debido al cambio

climático coinciden con los vinculados a humedales, como pesca a pequeña escala e inundaciones costeras.

El último reporte especial del IPCC sobre el océano y la criósfera (IPCC, 2019) resume los principales cambios para los ecosistemas costeros en el mundo, los que se listan a continuación³:

² Los modelos climáticos son representaciones cualitativas o cuantitativas del clima basadas en las propiedades biológicas, químicas y físicas de sus componentes, sus interacciones y los procesos de retroalimentación y contabilización de algunas de sus propiedades más conocidas, y las estimaciones de los cambios futuros en el clima se basan en ellos.

³ Reporte ya resumido en (Martínez, A., 2021)

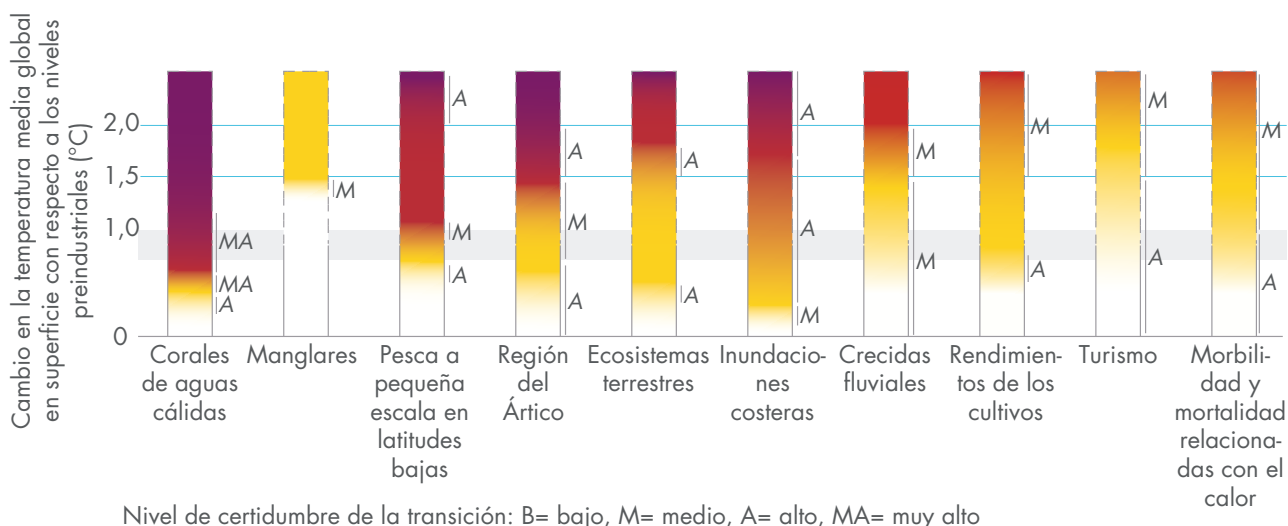


Figura 2. Impactos y riesgos para determinados sistemas naturales, gestionados y humanos. El color violeta indica riesgos muy altos de impactos/riesgos graves y la presencia de una irreversibilidad significativa; el color rojo indica impactos/riesgos graves y generalizados; el color amarillo indica que los impactos/riesgos son detectables y atribuibles al cambio climático con un nivel de confianza medio, como mínimo; y el color blanco indica que no hay impactos detectables ni atribuibles al cambio climático.

Tomado de: (IPCC, 2018).

Tendencia al calentamiento de los océanos

Ya reportado por el IPCC (IPCC, 2013), se confirma que a nivel global el océano se ha calentado sin cesar desde 1970⁴, mientras que desde 1993, la tasa de calentamiento de los océanos se ha más que duplicado⁵; mientras que al absorber más CO₂, el océano ha sufrido una creciente acidificación superficial⁶.

Aumento de la pérdida de las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida⁷

La pérdida de masa de la capa de hielo antártica durante el período 2007-2016 se habría triplicado con respecto a 1997-2006, y para Groenlandia, la pérdida de masa se habría duplicado para el mismo período. Asimismo, debido a la continua pérdida de masa de los glaciares y la expansión térmica de los océanos, el aumento del nivel del

⁴ Nivel de confianza: Casi seguro.

⁵ Nivel de confianza: Probable.

⁶ Nivel de confianza: Prácticamente seguro.

⁷ Nivel de confianza: Muy alta.

mar se ha acelerado⁸, lo que, en combinación con el aumento de los vientos y las lluvias de los ciclones tropicales, y el aumento de las olas extremas, vienen exacerbando los eventos extremos vinculados al nivel del mar y los peligros costeros⁹.

Cambios en el rango geográfico de diferentes especies marinas

Desde aproximadamente 1950, diferentes especies marinas han sufrido cambios en el rango geográfico que ocupaban, y en sus actividades estacionales¹⁰, generando impactos en la estructura de los ecosistemas y su funcionamiento¹¹, incluyéndose la contracción del hábitat, el cambio geográfico de las especies asociadas y la pérdida de biodiversidad, entre otros.

Efectos adversos de las actividades humanas en el océano y la tierra¹²

Entre ellos se incluyen la existencia de barreras antropogénicas que impiden el desplazamiento hacia tierra de pantanos y manglares¹³ –también llamada compresión costera-, el desafío sobre la gobernanza de los ecosistemas marinos¹⁴, etc. En general, los impactos en los servicios ecosistémicos estarían teniendo consecuencias negativas para la

salud y el bienestar¹⁵, y para los pueblos indígenas y las comunidades locales dependientes de la pesca¹⁶.

Entre los cambios proyectados para este siglo¹⁷, el IPCC prevé que el océano alcance condiciones sin precedentes con mayores temperaturas¹⁸, mayor acidificación¹⁹, menor cantidad de oxígeno²⁰, entre otros efectos; se proyecta una mayor frecuencia de las olas de calor marinas²¹ y de los eventos extremos de El Niño y La Niña²²; y en cuanto al nivel del mar, se prevé que seguirá aumentando a un ritmo creciente, lo que tendrá impactos graves en muchos lugares del planeta, dependiendo de la exposición²³, y las respuestas proyectadas de los ecosistemas ante estos cambios incluyen pérdidas de hábitat y diversidad de especies, y degradación de las funciones del ecosistema; y que el aumento del nivel medio y extremo del mar, junto con el calentamiento de los océanos y la acidificación, exacerbará los riesgos para las comunidades humanas en las zonas costeras bajas²⁴ (IPCC, 2019).

El incremento del nivel del mar es considerado como uno de los factores de peligro más importantes para los humedales costeros, sin embargo,

⁸ Nivel de confianza: Extremadamente probable.

⁹ Nivel de confianza: Muy alta.

¹⁰ Nivel de confianza: Alta.

¹¹ Nivel de confianza: Medio.

¹² Nivel de confianza: Alto.

¹³ Nivel de confianza: Alto.

¹⁴ Nivel de confianza: Alto.

¹⁵ Nivel de confianza: Medio.

¹⁶ Nivel de confianza: Alto.

¹⁷ Para las proyecciones futuras, el IPCC hace uso de modelos climáticos que proporcionan un conjunto de muchos escenarios posibles que conducirían a diferentes niveles de calentamiento global, desde aquellos que representan un bajo nivel de emisiones y un alto futuro de mitigación, hasta aquel que representa un escenario de altas emisiones de gases de efecto invernadero y una ausencia de políticas para combatir el cambio climático, pasando por los niveles intermedios de emisiones que resultarían en niveles intermedios de calentamiento.

¹⁸ Nivel de confianza: Prácticamente seguro.

¹⁹ Nivel de confianza: Prácticamente seguro.

²⁰ Nivel de confianza: Medio.

²¹ Nivel de confianza: Muy alto.

²² Nivel de confianza: Medio.

²³ Nivel de confianza: Alto.

²⁴ Nivel de confianza: Alto.

aún existe incertidumbre sobre la respuesta de dichos ecosistemas, pues si bien las principales proyecciones a escala global estiman que se perdería entre el 20 y el 90% del área actual de los humedales costeros, muchas de estas proyecciones no toman en cuenta ni los aspectos geomorfológicos ni la forma en que los sistemas socioeconómicos actúan sobre los humedales, aunque existe consenso en que se generarán tanto pérdidas de diversidad biológica como de los servicios ecosistémicos que los humedales costeros brindan (Schuerch et al., 2018).

Por su parte, eventos extremos de precipitación, así como cambios en los patrones de lluvias, y tormentas también podrían tener consecuencias muy serias para los humedales costeros. Estudios recientes han analizado el comportamiento de los humedales costeros ante la ocurrencia de huracanes, y el resultado mostró cambios drásticos en la cantidad y composición de los sedimentos de los ríos debido a las inundaciones extremas que se produjeron, mostrando que eventos de muy corto plazo, pero de gran intensidad pueden generar cambios muy grandes en dichos ecosistemas, con consecuencias aún no totalmente comprendidas (Majidzadeh et al. 2017) (Tahsin et al., 2016). Asimismo, se espera que el incremento de temperatura del aire pueda generar cambios, en los patrones fenológicos y en la composición de las especies, por ejemplo de los manglares (Gilman et al., 2008), así como cambios en la distribución de dichos ecosistemas (Ward, Day & Mackenzie, 2016).

Sin embargo, son probablemente las actividades antropogénicas intensivas las que ponen en mayor peligro a los ecosistemas costeros, incluyendo

los humedales. Está ampliamente documentada la pérdida del ecosistema manglar en el mundo debido a su conversión, principalmente, para la industria langostinera (Figura 3) durante la década del setenta (Biao & Kaijin, 2007), cuando enormes extensiones de manglar fueron utilizadas para la construcción de pozas de cría e infraestructura conexas como trochas y caminos (Stonich, 1995) (Cha, Young & Wong, 1997), (Wurman, Madrid & Brugger, 2004) (Stokstad, 2010), y solo en las últimas décadas el desarrollo tecnológico viene permitiendo la construcción de pozas en zonas alejadas de los manglares (FAO, 2016).

Actualmente el llamado land reclamation –es decir el proceso de crear nuevos territorios a partir del mar, por ejemplo llenando las áreas marinas costeras con material como piedras y/o cemento y posteriormente tierra y/o arcilla– es una amenaza, pues en muchos casos los humedales costeros han cambiado a humedales interiores encerrados por diques, cortando así el intercambio de sedimentos y flujo de agua entre los humedales y el océano, cambiando su uso para actividades agrícolas, industriales y urbanas, y provocando la pérdida de servicios ecosistémicos como la protección costera ante eventos extremos (Wu et al., 2018).

Finalmente, si bien se considera que los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas costeros serían mayormente negativos, se estima que, en algunos casos, también podría tener un impacto positivo al disparar la habilidad de sobrevivencia de algunos ecosistemas como los manglares, lo que sin embargo dependerá de muchos factores aún no bien comprendidos (Feller et al., 2017) (Godoy & de Lacerda, 2015) (IPCC, 2019).



Figura 3. Pozas langostineras en Sumatra, construidas sobre el ecosistema manglar.

Fuente: Mongabay, 2019.

3. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ECOSISTEMAS COSTEROS A NIVEL LOCAL

Como se presentó en la sección anterior, las estimaciones globales indican que los ecosistemas costeros en general, incluyendo a los humedales costeros, se verán afectados por factores como la elevación del nivel del mar y cambios en los patrones de precipitación; sin embargo, la forma en que cada ecosistema responderá a los impactos del cambio climático dependerá de factores muy locales, y cada zona y región necesitan de estudios puntuales que pueden estar vinculados a procesos regionales y locales sobre los que no necesariamente existe suficiente investigación (Takahashi & Martínez, 2017; Cai et al., 2018).

Estudios recientes señalan que una de las consecuencias del cambio climático sería la mayor frecuencia e intensidad de eventos El Niño, así como sus eventos asociados (Ward et al., 2016; Cai et al., 2014; Cai et al., 2018), y según el IPCC (2019), se prevé que los eventos El Niño extraordinarios ocurran aproximadamente el doble de veces en el siglo XXI en comparación con el siglo XX. El Niño es un evento climático recurrente, –que aparece aproximadamente cada tres a siete años–, con una duración de meses, caracterizado por presentar altas temperaturas del mar en el Océano Pacífico, y que en nuestro país está usualmente

asociado a la ocurrencia de lluvias en la costa norte y centro, ocasionando grandes pérdidas económicas y en vidas humanas, y que pueden ser, de acuerdo con su intensidad débiles, moderados, fuertes o extraordinarios.

Los eventos El Niño extraordinarios como los de 1982-83, 1997-98 y el Niño costero 2017 probablemente sean los de mayor recordación entre

la población, debido a las fuertes precipitaciones e inundaciones que produjeron en la costa norte, centro e incluso sur del país, y generaron pérdidas de vidas e infraestructura urbana y rural, afectando sectores como la pesca y la agricultura, así como bloqueando puentes y carreteras. En la Figura 4 se muestra el caudal promedio del río Piura, que durante los años de eventos extremos presenta una elevación muy clara de sus niveles.

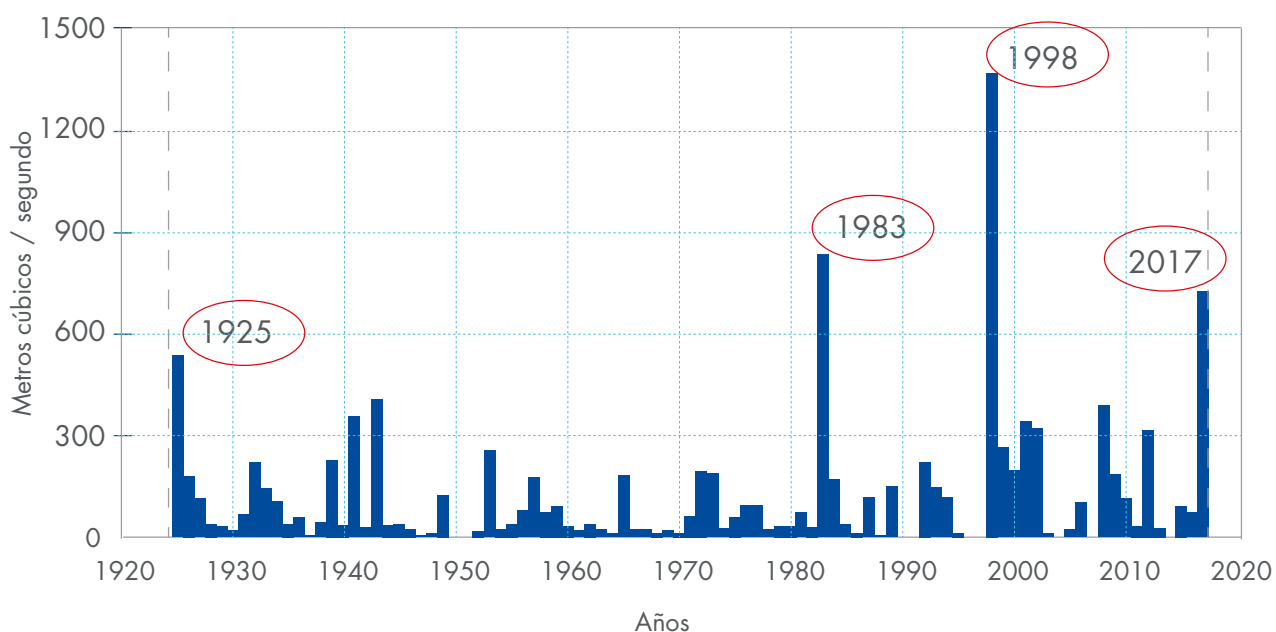


Figura 4. Caudal promedio del río Piura (febrero-abril) en m³/segundo.

Actualizado de: Takahashi & Martínez, 2017, por K. Takahashi.

Además, estos fuertes episodios de lluvia pueden tener impactos significativos en los ecosistemas como los humedales costeros, pues al descargar sus aguas por cauces secos pueden acarrear grandes cantidades de sedimentos y nutrientes: Morera et al. (2017) analizaron el comportamiento de los sedimentos en los ríos de la costa de Perú durante los eventos El Niño extraordinarios, en comparación con los años normales, y estimaron que la cantidad de sedimentos puede llegar a aumentar de tres a sesenta veces durante los eventos extremos en comparación con los años normales (entre los meses de enero a abril). Si bien estos depósitos forman parte del ciclo natural de los ecosistemas, si aumenta la frecuencia o la intensidad de su descarga, podría tener efectos aún poco estudiados en humedales costeros como albuferas y manglares.

Si bien, en general, se considera que los humedales son ecosistemas sumamente resilientes, la evidencia de casos como la pérdida de manglares a nivel global por el desarrollo de actividades como la langostinera, pone en evidencia la importancia de tomar acciones que permitan un equilibrio entre el desarrollo y la conservación. Algunas de dichas acciones incluyen soluciones de adaptación basadas en la naturaleza, como la planificación del uso del suelo y el manejo de la infraestructura urbana en la zona costera para garantizar una gestión de costas vivas (Schuerch et al., 2018; Wu et al., 2018), y un rol mucho más efectivo en la comunicación entre investigadores y población/autoridades para explicar la importancia de los humedales costeros como soporte de vida más allá de solamente su valor paisajístico (Moomaw, 2018).

4. AVANCES EN LA INSTITUCIONALIDAD Y LA GESTIÓN INTEGRAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PERÚ

A nivel internacional se generan diversos espacios de coordinación y acciones que conlleven a los países a nivel mundial a reducir los efectos ocasionados por el cambio climático. Así tenemos la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), donde sus partes durante la COP 21 llegaron a un consenso denominado: “Acuerdo de París”, afianzando el objetivo principal de la CMNUCC: “mantener el incremento de la temperatura del planeta por debajo de los 2°C”, además de mejorar y fortalecer la capacidad de las medidas ante los efectos del cambio climático que adopten los países en desarrollo, en concordancia a sus propios objetivos nacionales, y apalancamiento de recursos financieros. A través de este acuerdo, los países miembros enfrentarían al cambio climático mediante las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC por sus siglas en inglés), reportando periódicamente los logros alcanzados con las medidas NDC a nivel país. Asimismo, en el mismo acuerdo se planteó que los países en desarrollo preparen y comuniquen estrategias, planes y acciones para el desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero que reflejen sus circunstancias especiales (United Nations, 2016).

A partir de lo anterior, a nivel nacional, Perú en el 2015 presenta a la Secretaría de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático sus metas de mitigación y adaptación de largo plazo bajo un esquema altamente participativo (iNDC), con un fuerte soporte político y técnico (Pulgar-Vidal, 2016). En diciembre 2020, además el Perú remitió el Reporte de actualización de las NDC a la CMNUCC, con las metas más ambiciones en

mitigación y adaptación²⁵. Las NDC en adaptación de Perú establecen objetivos y metas para reducir los niveles de vulnerabilidad ante los peligros asociados al cambio climático. Actualmente se tiene noventa y dos medidas de adaptación priorizadas en cinco áreas temáticas: agua, agricultura, bosques, pesca y acuicultura, y salud; y se enfocan en sujetos vulnerables (poblaciones, medios de vida, ecosistemas, cuencas, territorios, infraestructura, bienes y servicios, entre otros), que se encuentra expuesto ante el impacto de un peligro asociado al cambio climático (MINAM, 2020). De estas noventa y dos, se identifican cinco medidas que directa e indirectamente se vinculan a acciones en humedales costeros:

- Medida PAC16: Gestión del riesgo actual y futuro asociado al cambio climático en la evaluación de áreas para acuicultura. Considera como zona priorizada al departamento de Tumbes y como dicha medida está enfocada en desarrollar investigaciones sobre vulnerabilidad y riesgos asociados al cambio climático a fin de evaluar la ampliación de la frontera acuícola y el otorgamiento de derechos a los usuarios del recurso, potencialmente se puede aprovechar la presencia del humedal costero de manglares ubicada en la franja costera norte de Tumbes como una barrera natural ante la ocurrencia de eventos climáticos adversos como tormentas, lluvias intensas y otros peligros geofísicos como tsunamis. De esta forma se evitaría conflictos de usos de la tierra entre la definición de nuevas fronteras acuícolas y la conservación de superficie manglar, además

²⁵ <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/1682641-reporte-de-actualizacion-de-las-ndc-del-peru-al-2030>

de fomentar buenas prácticas acuícolas por la actividad langostinera en Tumbes.

- Medida BOS2: Restauración de ecosistemas para mantener la conectividad del paisaje y reducir impactos ante eventos climáticos extremos. Tiene como uno de sus ámbitos prioritizados al Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes (SNLMT), importante humedal costero ubicado en la franja costera norte de Tumbes. Dicha medida busca reducir impactos ante eventos asociados al cambio climático y actividades antrópicas, a fin de reducir la sensibilidad de los bosques ante los efectos del cambio climático.
- Medida BOS3: Implementación de un programa nacional de monitoreo de bosques para medir el impacto del cambio climático. Dicha medida considera como alcance al ecosistema manglar y pretende fortalecer el sistema de monitoreo de bosques para entender cómo estos han sido afectados por el cambio climático a largo plazo, a fin de priorizar acciones de adaptación en aquellos ecosistemas o especies vegetales que estén siendo impactadas.
- Medida BOS4: Implementación de prácticas sostenibles para la conservación de ecosistemas en cuencas hidrográficas del ámbito de las áreas naturales protegidas (ANP). La presente medida tiene como alcance las ANP y áreas de conservación regional (ACR); y pretende reducir los riesgos ante los efectos del cambio climático en los bosques y la población, frente a peligros de origen climático, como los cambios en los regímenes de temperatura y precipitación exacerbado por las actividades no sostenibles de origen antrópico. Esta medida facilitaría la conservación y recuperación de otros humedales costeros como los humedales de Ventanilla (Lima) y la albufera de Medio Mundo (Lima) entre otros.

- Medida BOS5: Implementación del sistema de vigilancia y control en ANP para reducir la vulnerabilidad ante los efectos climáticos. Dicha medida se puede aplicar al humedal costero del bosque manglar y pretende reducir la vulnerabilidad de los bosques ante los efectos del cambio climático y de las actividades que ponen en riesgo la integridad de las ANP, incrementando la resiliencia de los bosques ante el cambio climático.

También en el año 2015, se aprueba la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático (ENCC), a partir del cual el país se compromete a “actuar frente al cambio climático de manera integrada, transversal y multisectorial, cumpliendo con los compromisos internacionales asumidos por el Perú ante la CMNUCC, y teniendo en cuenta los esfuerzos de previsión y acción para adaptar los sistemas productivos, los servicios sociales y la población, ante los efectos del cambio climático” (MINAM, 2015).

La ENCC identifica los impactos directos del cambio climático en los ecosistemas naturales y la diversidad biológica, y que estos a su vez alteran la base de los recursos naturales y su distribución geográfica en nuestro país. En tanto, dentro de la ENCC se identifica acciones y medidas propuestas, donde se enmarca el análisis de los ecosistemas frente a los efectos adversos del cambio climático, siendo así que uno de los productos de su Objetivo Estratégico 1 de la ENCC busca acciones en: “la evaluación del impacto y efectos de la condición del cambio climático en cuencas y ecosistemas, incluyendo las áreas naturales protegidas”; asimismo como medios de implementación correspondiente al conocimiento científico y tecnológico propone: elaborar estudios de vulnerabilidad frente al cambio climático (en cuencas, ecosistemas, comunidades, ciudades y sectores) para proponer medidas apropiadas de prevención o reducción de sus impactos. En este sentido, si bien el tema de humedales no se aborda

directamente en la ENCC, este se podría enmarcar en el concepto de ecosistemas. La ENCC actualmente se encuentra en proceso de actualización con una visión al 2050.

Además, el Ministerio del Ambiente viene elaborando el Plan Nacional de Adaptación (NAP), instrumento que orienta la planificación de la adaptación al cambio climático, a nivel país, enfocado a reducir los riesgos y la vulnerabilidad, así como a aumentar la capacidad de adaptación desencadenada por los peligros asociados al cambio climático (MINAM, 2021), que además contiene información de escenarios de riesgos, a partir de los escenarios climáticos más actualizados por SENAMHI. En el marco de las NDC, el plan prioriza de forma similar las mismas cinco áreas temáticas (agua, agricultura, bosques, pesca y acuicultura, y salud) y otras dos relevantes.

En tanto, a partir de MINAM (2019), el área temática de bosque para la región costa consideró a los bosques tropicales del pacífico, los bosques estacionalmente secos de colina y montaña, los estacionalmente secos de llanura, los estacionalmente secos ribereño y los manglares. Siendo así que correspondiente a ecosistemas húmedos costeros se abordó a los bosques de manglar, a partir del cual, el NAP refiere como potenciales impactos directos asociados a:

- Peligro climático de inundaciones: mayor acumulación de sedimentos y erosión en manglares, ocasionando la reducción de hábitat y especies asociadas; reducción de la salinidad de los manglares, produciendo una desestabilización de las condiciones del hábitat; y alteración de recursos hidrobiológicos en la provisión de alimentos.
- Peligro climático de incremento del nivel del mar: pérdida de superficie manglar y alteración de recursos hidrobiológicos en la provisión de alimentos.

A partir de lo anterior, el NAP propone objetivos prioritarios, acciones estratégicas, productos y medidas de adaptación asociadas al ecosistema manglar:

- Implementación de un programa nacional de monitoreo de la dinámica del bosque para medir el impacto del cambio climático.
- Implementación de prácticas sostenibles para la conservación de ecosistemas en cuencas hidrográficas del ámbito de las áreas naturales protegidas ante los efectos del cambio climático.
- Implementación de acciones de vigilancia y control en áreas naturales protegidas para reducir la vulnerabilidad ante los efectos climáticos y no climáticos.

En tanto, se identifica que se ha venido desarrollando denudados esfuerzos para abordar el análisis del riesgo del cambio climático en diversos sujetos vulnerables, incluido los ecosistemas de humedales costeros. Sin embargo, hay que considerar que la efectividad de las medidas de adaptación dependerá del nivel de compromiso de los actores involucrados en gestionar dichos compromisos y recursos suficientes para la implementación y ejecución de medidas de adaptación. En consiguiente, la institucionalidad del cambio climático juega un rol importante, no solo para cumplir con los compromisos nacionales e internacionales; sino también para facilitar la toma de decisiones de la gestión del territorio en marco de un contexto de cambio climático. Estos esfuerzos son parte de la agenda que venimos gestionando desde el MINAM, en calidad de autoridad nacional en cambio climático, con las autoridades sectoriales y regionales en cambio climático, así como con la participación más activa de la Comisión Nacional sobre Cambio Climático, la Comisión de Alto Nivel sobre Cambio Climático y la Plataforma de Pueblos Indígenas y Originarios sobre cambio climático, espacios reconocidos en la normatividad vigente.

Referencias

- Biao, X., & Kaijin, Y. (2007). Shrimp farmin in China: Operating characteristics, environmental impact and perspectives. *Ocean and Coastal Management*, 50(7), 538-550. doi:10.1016/j.ocecoaman.2007.02.006
- Cai, W. J., Borlace, S., Lengaigne, M., Van Rensch, P., Collins, M., Vecchi, G., . . . Jin, F. F. (2014). Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change*, 111-116.
- Cai, W., Wang, G., Dewitte, B., Wu, L., Santoso, A., Takahashi, K., . . . McPhaden, M. J. (2018). Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming. *Nature*, 564(7735), 201-206. doi:<https://doi.org/10.1038/s41586-018-0776-9>
- Cha, M. W., Young, L., & Wong, K. M. (1997). The future of traditional extensive (gei wai) shrimp farming at the Mai Po Marches Nature Reserve, Hong Kong. *Hydrobiologia*, 295-303.
- FAO. (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all*. Rome. Recuperado el 13 de Agosto de 2019, de <http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf>
- Feller, I. (s/f). Smithsonian Institution. Recuperado de: <https://ocean.si.edu/holding-tank/mangroves/former-mangrove-forest>
- Gardner, R.C., Barchiesi, S., Beltrame, C., Finlayson, C.M., Galewski, T., Harrison, I., Paganini, M., Perennou, C., Pritchard, D.E., Rosenqvist, A., and Walpole, M. (2015). *State of the World's Wetlands and their Services to People : A compilation of recent analyses*. Ramsar Briefing Note no. 7. Gland, Switzerland : Ramsar Convention Secretariat.
- Godoy, M. D., & de Lacerda, L. D. (2015). Mangroves Response to Climate Change: A Review of Recent Findings on Mangrove Extension and Distribution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87(2), 651-667. doi:10.1590/0001-3765201520150055
- IPCC. (2001): *Climate Change 2001. Impacts adaptation and vulnerability*. IPCC, WMO, UNEP. Cambridge University Press. UK p. 1009.
- . (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (T. D.-K. [Stocker, Ed.] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- . (2018). Resumen para responsables de políticas. En: *Calentamiento global de 1,5 °C*. [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (Eds.)]. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf
- . (2019). *IPCC, 2019: Summary for Policymakers*. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* (In press). (D. R.-D. H.-O. Pörtner, Ed.) Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/03_SROCC_SPM_FINAL.pdf
- Leadley, P. W., Krug, C. B., Alkemade, R., Pereira, H. M., Sumaila U. R., Walpole, M., Marques, A., Newbold, T., Teh, L. S. L, van Kolck, J., Bellard, C., Januchowski-Hartley, S. R., & Mumby, P. J. (2014). *Progress towards the Aichi Biodiversity Targets: An assessment of biodiversity trends, policy scenarios and key actions* (CBD Technical Series No. 78). Montreal, Canada: Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Recuperado de: <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-78-en.pdf>
- Majidzadeh, H., Uzun, H., Ruecker, A., Miller, D., Vernon J., Zhang, H., Bao, S., Tsui, M. T. K., Karanfil, T., and A. T. Chow. (2017). Extreme flooding mobilized dissolved organic matter from coastal forested wetlands. *Biogeochemistry* 136, 293–309 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10533-017-0394-x>
- Martínez, A. (2021). *Relaciones sociales de poder y desarrollo territorial en la creación de áreas naturales protegidas: caso del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes (SNLMT)*. Tesis para optar el grado académico de Doctora en Antropología. Escuela de Postgrado. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Ministerio del Ambiente - MINAM. (2015). Estrategia Nacional ante el Cambio Climático 2015. Lima: Ministerio del Ambiente.

Ministerio del Ambiente - MINAM. (2019). Mapa nacional de ecosistemas del Perú. Memoria descriptiva. Lima: Ministerio del Ambiente.

Ministerio del Ambiente - MINAM. (2020). Catálogo de 92 medidas de adaptación. Lima: Ministerio del Ambiente. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/462585-catalogo-de-92-medidas-de-adaptacion>

Ministerio del Ambiente - MINAM. (2021). Plan nacional de adaptación al cambio climático del Perú (NAP). Lima: Ministerio del Ambiente. (En publicación).

Mongabay (2019). Indonesia to revive idle shrimp farms to boost fisheries and save mangroves. Recuperado de: <https://news.mongabay.com/2019/12/indonesia-shrimp-fisheries-mangroves-deforestation-aquaculture-farms/>

Moomaw, W.R., Chmura, G.L., Davies, G.T. et al. Wetlands In a Changing Climate: Science, Policy and Management. *Wetlands* 38, 183–205 (2018). <https://doi.org/10.1007/s13157-018-1023-8>

Morera, S. B., Condom, T., Crave, A., Steer, P., & Guyot, J. L. (2017). The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968–2012). *Scientific Reports*, 7(1). doi:10.1038/s41598-017-12220-x

Pulgar-Vidal, M. (2016). El Acuerdo de París: El largo proceso hacia el éxito. Rol, retos y oportunidades para el Perú. Lima: Ministerio del Ambiente

Schuerch, M., Spencer, T., Temmerman, S., Kirwan, M. L., Wolff, C., Lincke, D., McOwen, C. J., Pickering M. D., Reef, R., Vafeidis, A. T., Hinkel, J., Nicholls R. J. & S. Brown. (2018). Future response of global coastal wetlands to sea-level rise. *Nature* 561, 231–234. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0476-5>

Stokstad, E. (2010). Down on the Shrimp Farm. *Science*, 328(5985), 1504-1505. doi:10.1126/science.328.5985.1504

Stonich, S. C. (1995). The environmental quality and social justice implications of shrimp mariculture development in Honduras. *Human Ecology*, 23(2), 143-168. doi:10.1007/bf01191647

Tahsin, S., Medeiros, S. and A. Singh. (2016). Resilience of coastal wetlands to extreme hydrologic events in Apalachicola Bay. *Geophysical Research Letters*. Vol. 43 (14). Pages 7529-7537. <https://doi.org/10.1002/2016GL069594>

Takahashi, K., & Martínez, A. G. (2017). The very strong coastal El Niño in 1925 in the far-eastern Pacific. *Climate Dynamics*, 52, 7389-7415. doi:<https://doi.org/10.1007/s00382-017-3702-1>

United Nations. (2016). Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015. Framework Convention on climate Change. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>

Wu, W., Yang, Z., Tian, B., Huang, Y., Zhou, Y., y T. Zhang. (2018). Impactos of coastal reclamation on wetlands: Loss, resilience, and sustainable management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Volumen 210. Pages 153-161. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.06.013>

Ward, R. D., Friess, D. A., Day, R. H., & Mackenzie, R. A. (2016). Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2(4), 1-25. doi:10.1002/ehs2.1211

Wurman, C. G., Madrid, R. M., & Brugger, A. M. (2004). Shrimp farming in Latin America: Current status, opportunities, challenges and strategies for sustainable development. *Aquaculture Economics and Management*, 8(3-4), 117-141. doi:10.1080/13657300409380358



SEGUNDA PARTE

HUMEDAL EL PARAÍSO

El humedal El Paraíso se localiza en el distrito de Huacho, provincia de Haura, departamento de Lima (Figura 1), aproximadamente a 136 km al norte de la ciudad de Lima y a 10 km al

sur de la ciudad de Huacho; geográficamente se ubica entre las latitudes de 11°13' S y 11°10' S y longitud 77°36' W – 77°35' W.

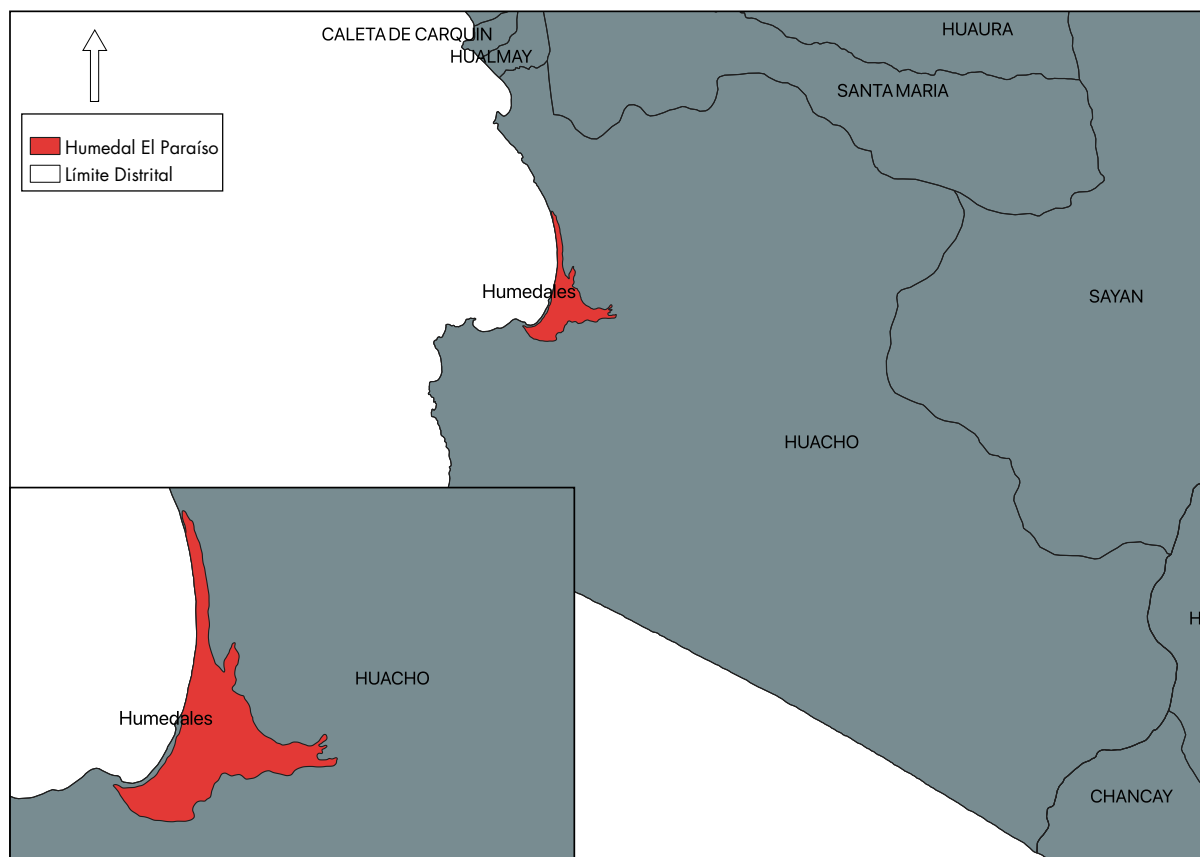


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

El Paraíso tuvo su origen en 1973 como consecuencia de las filtraciones agrícolas de la irrigación Santa Rosa ubicadas en la provincia de Sayán (Ministerio de Agricultura, 1977; Cruz y Vásquez, 2003), también responsable de la destrucción de una parte de Bandurria (Silva Santisteban, 2018). El humedal se clasifica como una albufera, es decir, una laguna de agua salada ubicada contigua al mar, y que queda aislada de este por un banco de arena, y que además de mar abierto, playa, zona de vegetación y zonas cenagosas, presenta dos cuerpos de agua: lagunas norte y sur.

A continuación, se presentan una serie de artículos que buscan ahondar en el conocimiento biofísico y socioeconómico que se tiene sobre el humedal El Paraíso. Los cuatro primeros tienen en común el haber hecho uso de herramientas y metodologías de teledetección, que son una buena alternativa que proporciona datos para el monitoreo del uso y cambios de la cobertura de la tierra en tiempos cercanos al tiempo real para diferentes escalas y resoluciones (Wang et al., 2018), puesto que los métodos tradicionales de cartografiado y monitoreo de los humedales requiere de tiempo y trabajos de

campo, además que no permiten detectar cambios en grandes extensiones de superficie (Ghosh et al., 2016).

El primer artículo presenta una propuesta de extensión física y delimitación del humedal; el segundo, la clasificación supervisada de la cobertura vegetal, que dio como resultado la identificación de un total de diez clases de cobertura de suelo; mientras que el tercero analiza temporalmente la variación en la vegetación y salud vegetal del humedal, los que mostraron una tendencia positiva en su actividad. El siguiente artículo se centró en el comportamiento geodinámico del humedal, para lo cual se generaron mapas locales de información geológica-geomorfológica, y se identificaron los eventos geodinámicos registrados en la zona de estudio: inundaciones, arenamientos, erosión

marina y licuación de suelos, de relevancia para la planificación del territorio. Mientras que el quinto artículo ahonda en la percepción que vecinos, investigadores y autoridades tienen sobre El Paraíso, incluyendo su estado de conservación, razones de su importancia y problemas para su efectiva gestión, información que se obtuvo a través de una encuesta virtual y entrevistas puntuales por vía telefónica.

Cabe resaltar que las metodologías y técnicas utilizadas son poco convencionales, pero han mostrado ser útiles dadas las dificultades presentadas durante el año 2020 debido a la presencia del Covid-19, que impidió, en gran medida, la toma de datos in situ, así como la realización de reuniones y talleres presenciales.

Instituto Geofísico del Perú

Referencias

Cruz, Z., y Vásquez, P. (2003). Uso de recursos naturales en las lagunas costeras El Paraíso. Anales científicos, UNALM, Vol. LIII-A, págs. 146-155.

Ministerio de Agricultura (1977). Proyecto de irrigación Pampas "El Paraíso". Estudio de factibilidad. Informe y Anexos. 284 pp.

Quiñonez A. S., Hernández, F. (2017). Uso de hábitat y estado de conservación de las aves en el humedal El Paraíso, Lima,

Perú. Revista Peruana de Biología 24(2): 175-186 p. Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM.

Silva Santisteban, I. (2018). Acondicionamiento turístico y afluencia turística al sitio arqueológico Bandurria – Huacho, año 2017. Tesis para optar el título profesional de licenciado en turismo y hotelería. Escuela Académico Profesional de Gestión en Turismo y Hotelería, Facultad de Ciencias Empresariales, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.



Propuesta de delimitación de la extensión del humedal El Paraíso

J. Guerrero²⁶ y R. Príncipe²⁷

RESUMEN

Se han realizado los primeros alcances para la delimitación física del humedal El Paraíso, considerando variables ambientales como la cobertura vegetal. Para ello se utilizaron datos GPS navegador y un total de cuarentainueve imágenes satelitales de radar Sentinel-1B del periodo 2018-2020, que fueron sometidos a un conjunto de preprocesamientos, tales como calibración radiométrica, reducción de speckle y la geocodificación, que permitieron una mejor interpretación de las imágenes, para posteriormente analizar el comportamiento de la vegetación ante cambios estacionales.

Con esta información, y con el fin mejorar los resultados, se generó un compuesto multitemporal con las imágenes de las diferentes fechas usando parámetros estadísticos para obtener una imagen en falso color (compuesto RGB) que muestra la extensión del humedal con mayor claridad. Finalmente, mediante el compuesto RGB y el clasificador K-means se obtuvo el polígono del límite del humedal que fue validado en campo. Los resultados mostraron que el humedal tiene una extensión total de 714,62 hectáreas.

Palabras Clave: Radar, Ecosistema, Humedal.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el mapeo de la cobertura terrestre ha abarcado una variedad de niveles de detalle con el fin de apoyar actividades como monitoreo, evaluación de hábitat, manejo de vida silvestre, gestión de riesgos y desastres, seguimiento del cambio climático, evaluación de impacto ambiental, planificación estatal y local, acciones de recuperación de hábitats y desarrollo de políticas regulatorias, donde la teledetección por satélite se ha convertido en la herramienta más confiable

para recopilar los datos sobre la cobertura del suelo para satisfacer todas estas necesidades.

El sistema de teledetección por radar tiene un papel distintivo en aplicaciones terrestres: el radar es capaz de transmitir y recibir sus propias ondas de microondas con una antena, permitiendo que la adquisición de imágenes sea casi independiente del clima o del día y la noche. Estas ventajas facilitan enormemente el mapeo de la cobertura terrestre en las regiones tropicales y ecuatoriales

²⁶ Universidad Nacional Mayor de San Marcos – jguerreros@unmsm.edu.pe

²⁷ eprincipe17@gmail.com

del mundo, con gran cobertura de nubosa, por lo que, haciendo uso de esta tecnología, el presente trabajo tiene como objetivo proporcionar los primeros alcances de la delimitación del humedal

El Paraíso, considerando variables ambientales como la cobertura vegetal para lo cual se utilizaron datos GPS navegador e imágenes de satélite de tipo radar.

2. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Si bien en el estudio se planificó emplear GPS diferencial para determinar los hitos, no se pudo realizar dicha tarea debido a la pandemia por COVID-19, ya que hubiera implicado la realización de un extenso trabajo de campo. A pesar de ello, se hizo una salida de campo en el mes de octubre 2020, indispensable para realizar la validación del polígono generado del límite del humedal, así como la toma de fotografías en los límites y la toma de las coordenadas empleando equipo GPS navegador.

Si bien las imágenes de radar son una herramienta importante en el mapeo de la cobertura de suelo,

existen algunas limitaciones en esta área de aplicación, tales como los efectos de distorsión geométrica debido a la topografía, dependencia de la reflectividad con el ángulo de incidencia, la presencia del ruido speckle, dependencia de la forma de adquisición de la escena, etc., siendo la principal el ruido speckle²⁸ presente por defecto en todas las imágenes radar que hace difícil captar los patrones generales del paisaje por el intérprete humano y genera problemas en los algoritmos de clasificación de coberturas.

3. DATOS UTILIZADOS

a. Datos imágenes de radar Sentinel-1B

Se obtuvieron cuarentainueve imágenes de Sentinel-1B de banda C del modo Interferometric Wide Swath (IW) gratuitamente desde la web del Alaska Satellite Facility (ASF, s/f) en el período octubre del 2018 a junio del 2020. Las imágenes poseen 10 m tamaño de píxel y son de polarización dual VV/VH. Poseen un nivel de procesamiento Nivel 1 Ground Range Detected (GRD) con la misma geometría de adquisición (Path 69 y Frame 627). Estas imágenes no poseen información de fase, por lo que los resultados que se obtuvieron con las imágenes de intensidad.

En la Figura 1 se muestra una imagen de radar Sentinel-1B del mes de junio de 2020 procesada.

La imagen en el canal VH (Fig. 1a) resalta mejor la cobertura vegetal en comparación a VV (Fig. 1b), debido a que en este canal se registra con mayor intensidad la despolarización de las ondas de radar debido al scattering de volumen de la vegetación.

b. Datos de cobertura nubosa

Se procesaron datos imágenes diarios de fracción de nubes del producto "MODIS CLOUD" (MOD06 y MYD06, Colección 6.1) de los sensores MODIS/Terra y MODIS/Aqua. Las imágenes MODIS/Terra proporcionan información sobre la nubosidad en la mañana (alrededor de las 10:30 AM) y las imágenes MODIS/Aqua en la tarde (alrededor de las 1:30 PM).

²⁸ Ruido de naturaleza multiplicativa generado en la adquisición de las imágenes por el uso de radiación coherente.

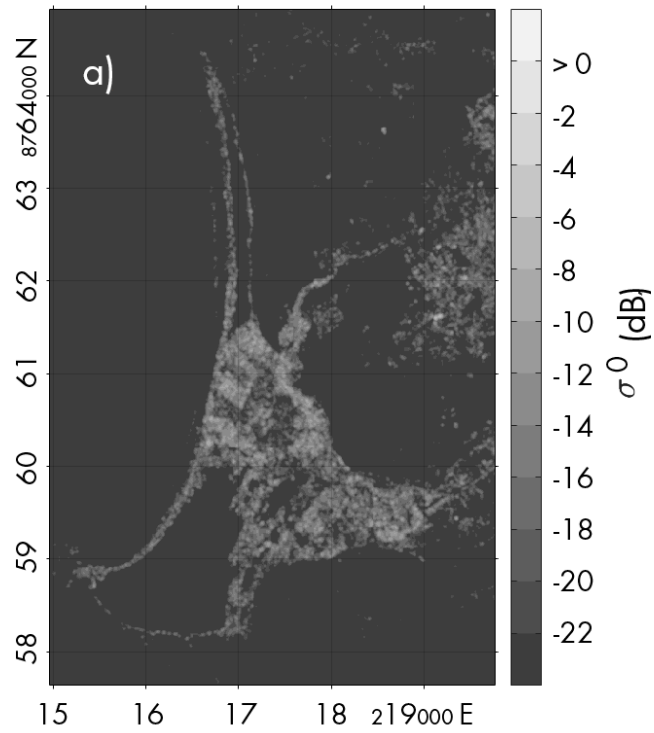


Figura 1a. Imagen radar Sentinel-1B del 22 de junio de 2020 del área de estudio: Coeficiente de backscattering del canal VH (σ_{VH}^0). Los coeficientes están en decibelios.

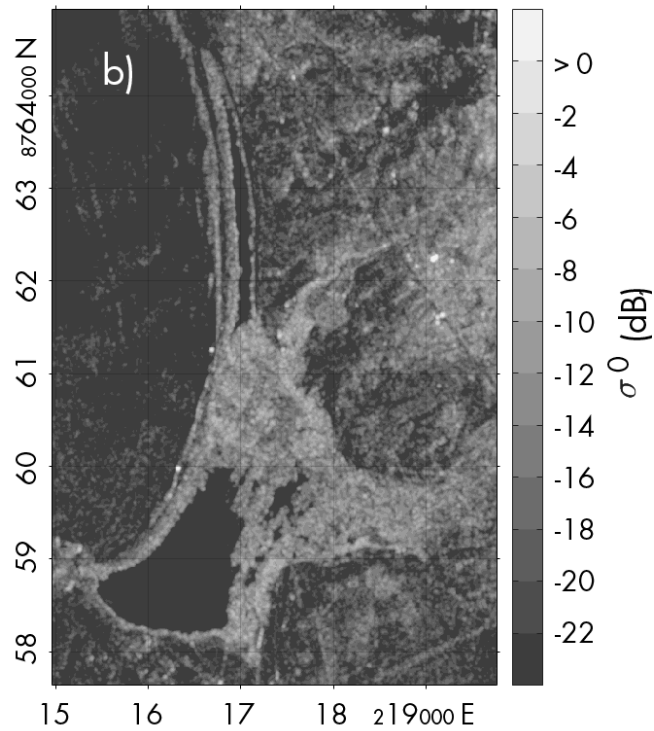


Figura 1b. Imagen radar Sentinel-1B del 22 de junio de 2020 del área de estudio: Coeficiente de backscattering del canal VV (σ_{VV}^0). Los coeficientes están en decibelios.

4. MÉTODOS UTILIZADOS

a. Preprocesamiento de imágenes de radar

Las imágenes de radar de diferentes fechas fueron preprocesadas usando el software SNAP de la Agencia Espacial Europea de acceso libre. Los pasos del preprocesamiento fueron los siguientes: actualización de los archivos de órbita, remoción del ruido térmico, calibración radiométrica al coeficiente de *backscattering* (σ^0), reducción de speckle mediante el filtro adaptativo Gamma Map aplicado usando una [v]entana móvil de 3x3 y la geocodificación utilizando el modelo de elevación digital (DEM) de Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (resolución 30 m). La geocodificación se estableció con proyección UTM (zona 18S) usando elipsoide de referencia WGS84.

b. Análisis de series de tiempo

La serie de tiempo es una secuencia de información registrada en instantes de tiempo consecutivos (Lamigueiro, 2015); cuando estos instantes de tiempo son eventualmente espaciados, la distancia entre ellos es llamado intervalo de muestreo. Con la visualización de series de tiempo se pretende revelar uno o más cambios de las variables cuantitativas en

el tiempo y mostrar las relaciones entre las variables y su evolución en el tiempo (Lamigueiro, 2015); mientras que de acuerdo con Ríos (2008), los datos se pueden comportar de diferentes maneras en el tiempo, como tendencia, ciclo y podría tener una forma aleatoria o podría variar estacionalmente. En el presente trabajo se realizó la regresión lineal para identificar el incremento o decremento de los valores en la serie de tiempo.

c. Clasificación no supervisada

Para la clasificación no supervisada o clustering, no se requiere información de referencia en absoluto; en cambio, se intenta encontrar una estructura de clases subyacente automáticamente organizando los datos en grupos que comparten características similares (por ejemplo, espectralmente homogéneas) pues a menudo, solo es necesario especificar de antemano el número de clases presentes (Canty, 2019). Para el presente caso se optó por emplear el algoritmo de agrupación K-means que se basa en la función de costo de suma de cuadrados. La imagen que se empleó como dato de entrada al clasificador K-means fue la imagen RGB-multitemporal.

5. RESULTADOS

Para efectos del presente estudio se realizaron los siguientes pasos: a) análisis de la cobertura de nubes para ver el potencial de las imágenes de radar; b) análisis de cambios estacionales de la cobertura vegetal; c) análisis multitemporal de las imágenes de radar; d) análisis de clasificación o clustering; y e) Validación de la información y análisis del límite de humedal. A continuación, se presenta el detalle del proceso.

a. Análisis de la cobertura nubosa

Con la finalidad de analizar la cobertura de nubes en el área de estudio se generó una serie de tiempo de promedios mensuales de la cobertura nubosa de datos producto MODIS (MOD06 y MYD06) para el periodo 2003 - 2020. Las series de tiempo (Figura 2) muestran que la cobertura nubosa sobre el área de estudio es diferente en la mañana y la tarde en sus valores máximos. En la

serie de la mañana los máximos están cerca de 100 % y en la tarde alrededor de 75%, mientras

que los valores máximos se dan en los meses de invierno.

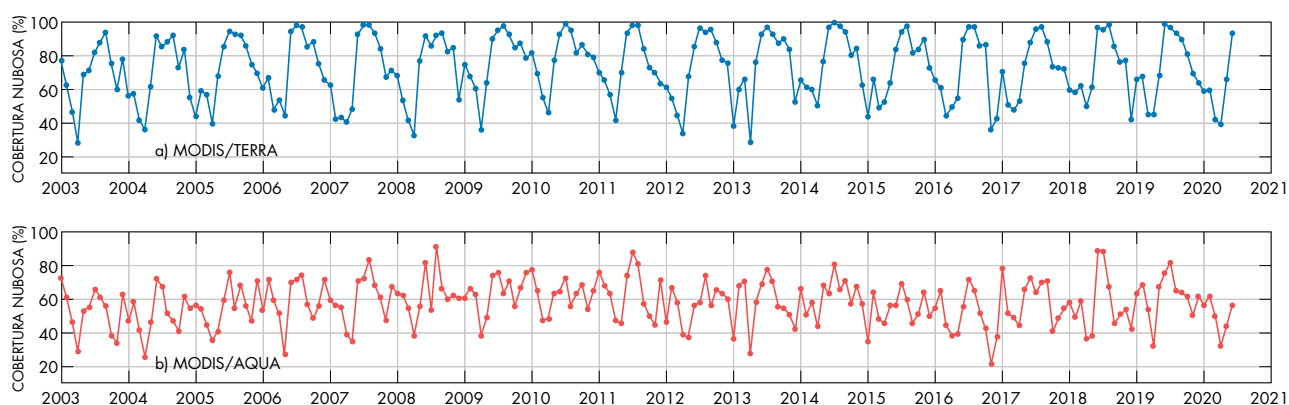


Figura 2. Serie de tiempo de promedios mensuales de cobertura nubosa de los sensores MODIS/Terra y MODIS/Aqua para el periodo de enero de 2003 a junio de 2020. En ambas series los valores mínimos de nubosidad están alrededor de 40 % (meses de verano).

Las series de tiempo indican que el área de estudio se caracteriza por tener una gran cobertura nubosa durante la mayor parte del año, sobre todo en invierno, lo que ocasiona que sea difícil obtener imágenes ópticas con baja nubosidad del área de estudio, lo que impide un monitoreo continuo. En vista de ello se optó por el uso de imágenes de radar de apertura sintética, adquiridas casi independientemente de las condiciones meteorológicas.

b. Análisis de cambios estacionales de la cobertura vegetal a través de la razón de polarización cruzada

En esta subsección se presenta el análisis de cambios estacionales de la cobertura vegetal, característica fundamental para poder delimitar con mayor facilidad el humedal. Para ello se empleó la razón de polarización cruzada (CR: Cross Ratio) de los coeficientes de backscattering σ_{VH}^0 y σ_{VV}^0 , pues investigaciones recientes han mostrado que el

CR distingue bien la cobertura vegetal y presenta altas correlaciones lineales en mediciones in situ, mostrando el potencial de las imágenes de radar y especialmente de las imágenes Sentinel-1 para monitorear la dinámica de la cobertura vegetal (Vreugdenhil et al., 2018).

Primero, se promediaron los coeficientes backscattering VV y VH y se calculó el valor de CR como la relación VH/VV en el dominio lineal. Finalmente, todos los valores se convirtieron en dominio logarítmico (a decibelios). La Figura 3 muestra la variación temporal del CR entre octubre de 2018 y junio de 2020. El muestreo de la serie no es uniforme debido a que existen dos y tres valores por mes. Se observa que la serie tiene baja variabilidad, con pequeñas fluctuaciones alrededor de $CR = -4$ dB. Esta característica indica que la cobertura de vegetación del humedal se mantiene constante y no es sensible a los cambios estacionales.

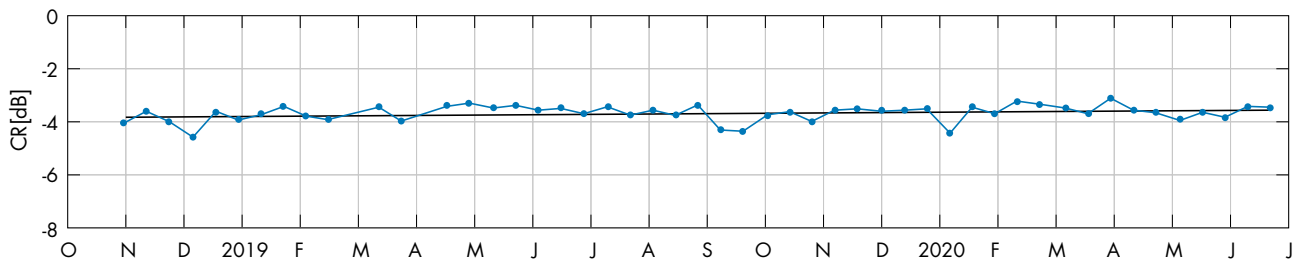


Figura 3. Serie de tiempo de CR del área de estudio. Con el ajuste lineal (línea negra) que muestra una pendiente casi horizontal.

Fuente: Elaboración propia.

c. Análisis multitemporal de las imágenes de radar

En vista de que la extensión del humedal se mantuvo fija en el intervalo de tiempo analizado, se consideró conveniente analizar las imágenes en conjunto mediante el uso de parámetros estadísticos, puesto que el análisis individual de las escenas es complejo debido a las variaciones de la textura y la presencia de speckle residual que no permite delimitar adecuadamente la extensión del humedal con los métodos convencionales de clasificación de imágenes.

El análisis multitemporal tiene la ventaja de condensar la información y reducir el speckle al tratar estadísticamente las imágenes de diferentes fechas. Para ello, se generó un compuesto multitemporal con las imágenes de

múltiples fechas usando parámetros estadísticos para obtener una imagen en falso color (Figura 4b) que mostrara la extensión del humedal con claridad. En la Figura 4b se aprecia en color verde y blanco las áreas de cobertura vegetal. Esta característica de resaltar el área de cobertura vegetal del resto de suelo también es mostrada en la imagen del coeficiente de variación (C.V) (ver detalles en la sección de anexo – A1). La combinación RGB, que se detalla en el anexo A2 fue elegida de tal modo que σ_{VH}^0 tenga predominancia en el canal verde con el objetivo de diferenciar las principales coberturas como el agua, vegetación y suelo desnudo, del mismo modo que una imagen óptica (Figura 4a). Finalmente, el RGB resume la información de todas fechas en tres canales.



Figura 4a. Imagen satélite de ESRI (ArcGIS Imagery) del área de estudio del año 2019.

Fuente: Elaboración propia.

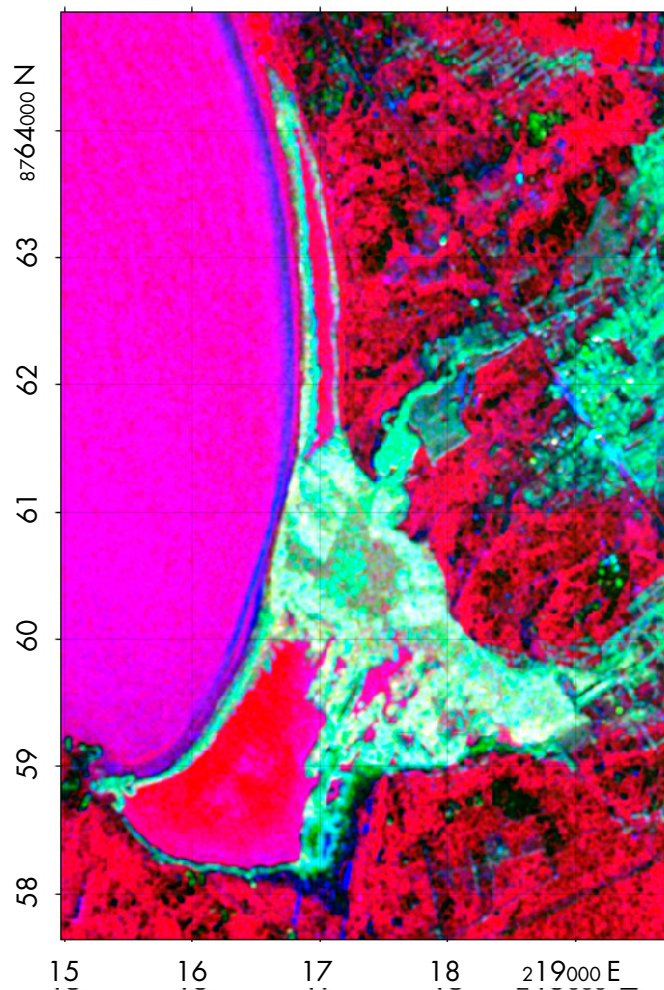


Figura 4b. Compuesto RGB multitemporal de las imágenes de diferentes fechas. Se evidencia con claridad la extensión del humedal.

Fuente: Elaboración propia.

d. Análisis de clasificación o clustering

Para el agrupamiento de datos con características similares se emplearon algoritmos de agrupamiento automático K-means. Se seleccionaron de antemano cinco clases, pues según autores como Canty (2019)

en estos casos solo es necesario escoger el número de clases presentes con anterioridad, utilizando las clases mostradas en la Figura 5; y el dato de entrada utilizado fue la imagen de la Figura 4b, luego del recorte con un polígono de interés.

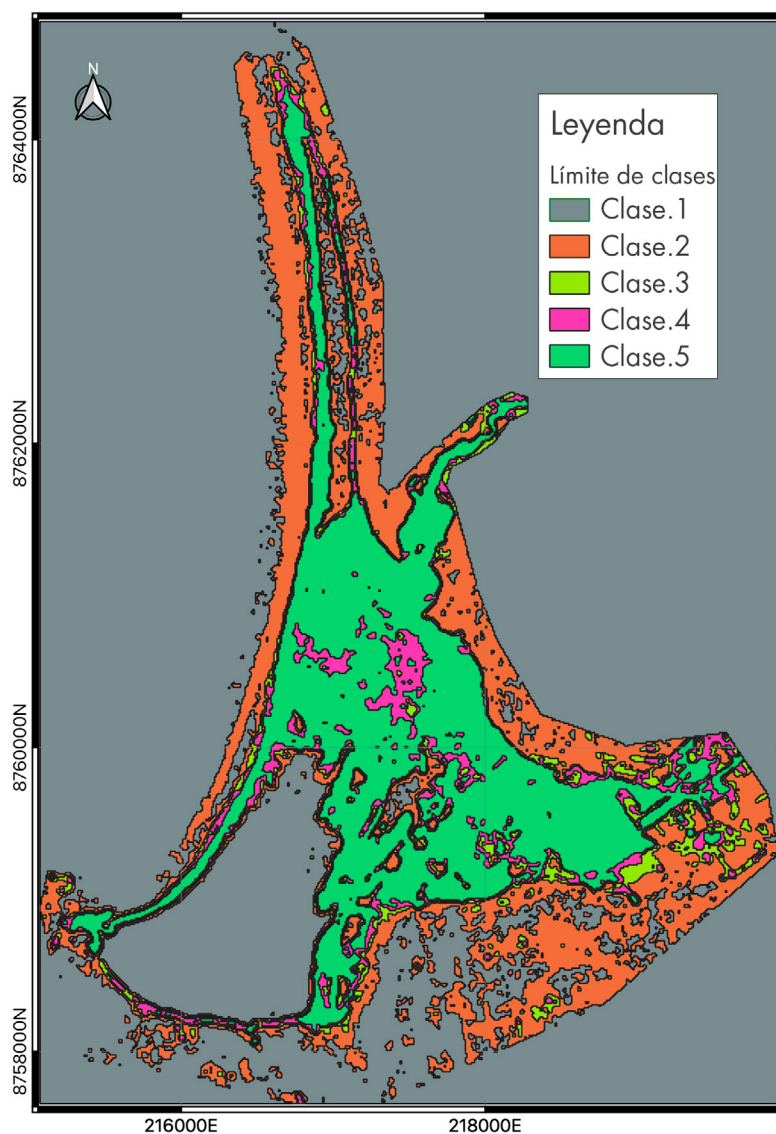


Figura 5. Mapa de límites del humedal obtenido mediante K-means a partir de datos imágenes radar.

Fuente: Elaboración propia.

Después de obtener los datos de entrada se procedió con la ejecución del algoritmo K-means, obteniendo como resultado que la clase denotada como clase.5 corresponde al área de la cobertura vegetal en conjunto con las clases clase.3 y clase.4; mientras que la clase.1 representa a zonas no clasificadas donde los valores fueron iguales a cero. Por último, la clase.2 representa a zonas de suelo desnudo (zonas de arena) y cuerpo de agua (laguna norte del humedal).

e. Validación de la información y análisis del límite de humedal

El método de agrupamiento de datos empleado permitió diferenciar y discriminar la cobertura de suelo con mucha facilidad. Para ello, se procedió con el tratamiento GIS del resultado (Fig. 5), transformando el ráster a polígono y eliminado algunos polígonos que no correspondían al propósito de la delimitación del humedal. En la Figura 6 se muestra el resultado final del límite

del humedal El Paraíso que está conformado por dos polígonos, la zona que se ha denominado como Límite Humedal.2 que corresponde a zonas donde no fue posible ingresar debido a que corresponderían a zonas de propiedad privada, con una extensión de 32,64 hectáreas, y el Límite Humedal.1 que corresponde a las zonas de libre

acceso de 681,98 hectáreas de área, considerando que las áreas indicadas corresponden al intervalo de tiempo analizado 2018-20, que se mantuvo invariante para ese periodo. Asimismo, en esta figura se indican los puntos coordenados de validación, donde cada punto coordenado tiene asociado una foto de campo mostrada en la Figura 7.

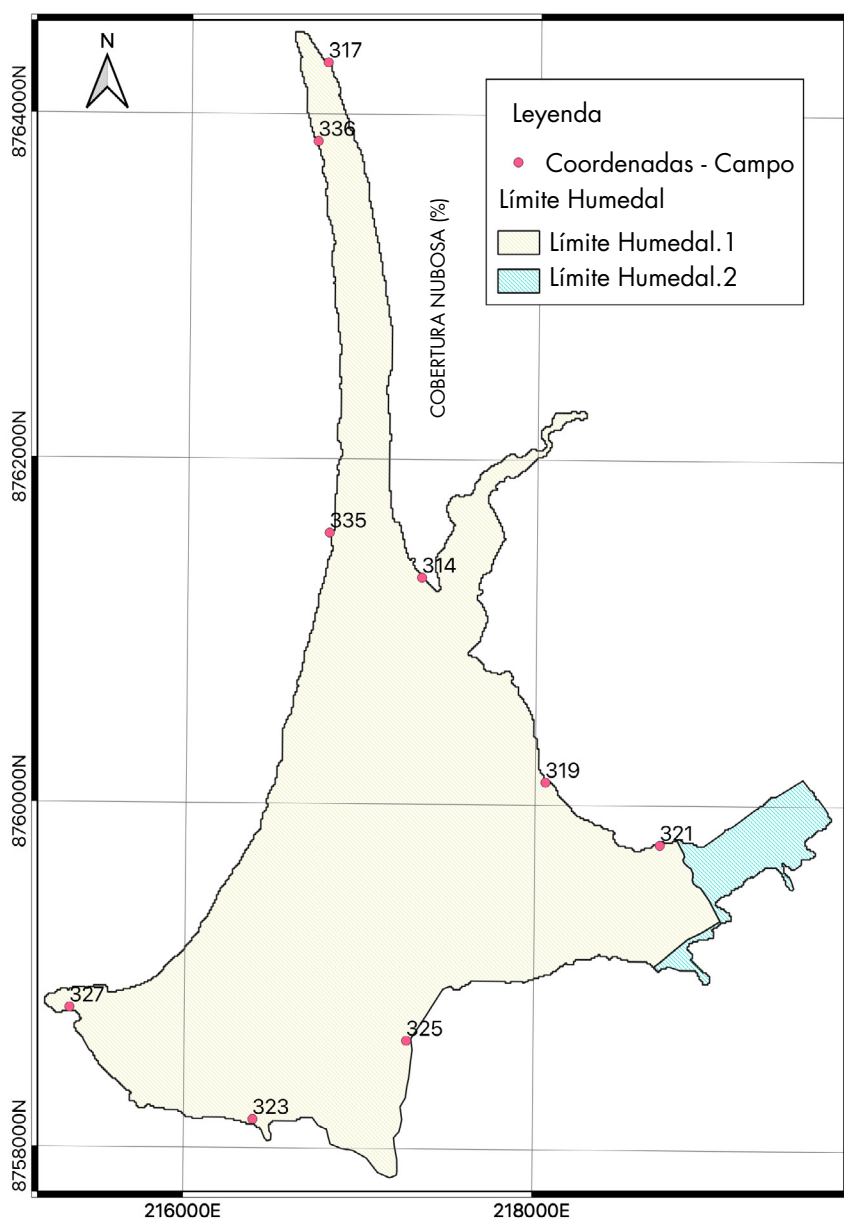


Figura 6. Mapa temático del límite del humedal.

Fuente: Elaboración propia.



314



317



319



321



323



325



327



335



336

Figura 7. Fotografías alrededor de los puntos coordenados tomados en campo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología empleada, considerando variables ambientales como la cobertura vegetal mediante el análisis de imágenes de radar Sentinel-1B y datos de GPS navegador, logró el objetivo de delimitar el humedal, y se ha comprobado que las imágenes radar son una valiosa fuente de datos para el monitoreo continuo de la cobertura del suelo, en zonas con gran cobertura nubosa como el humedal El Paraíso. Los resultados obtenidos muestran que el total de área mapeada es de 714,62 hectáreas, las cuales para fines metodológicos se han diferenciado en dos espacios: uno que correspondería a propiedades privadas en las

que no fue posible hacer el ingreso, con un total de 32,64 hectáreas (4,57%) y un sector donde fue posible hacer el ingreso que corresponde a más del 95% del total mapeado.

Para acciones futuras se sugiere la incorporación de hitos empleando equipos GPS diferencial, los que permitirán mayores detalles en los límites, así como verificar la pertenencia de los terrenos donde no fue posible el acceso. En el Anexo 3 se proponen los puntos coordenados donde potencialmente se podría colocar los hitos, y que corresponden a los puntos físicos señalados en la Figura 7.

Referencias

ASF (s/f). <https://asf.alaska.edu>

Lamigueiro, O. P. (2015). Displaying Time Series, Spatial and Space-Time Data with R. In *International Statistical Review* (Vol. 83). https://doi.org/10.1111/insr.12095_5.

Ríos, G. (2008). *Series de Tiempo*. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 52. Retrieved from https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/CC52A/1/material_docente/objeto/296003

Canty, M. (2019). Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing With Algorithms for Python. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Richards, J. A. (2009), *Remote Sensing with Imaging Radar*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp.361

Jensen J. R. (2014). *Remote Sensing of the Environment An Earth Resource Perspective*, Second Edition, Pearson Education Limited, pp.614

Anexo 1 Análisis del coeficiente de backscattering

La Figura 8 muestra el coeficiente de variación (C.V.) (desviación estándar/promedio) del coeficiente de] backscattering del canal σ_{VH}^0 de las imágenes de diferentes fechas. Se tomó el valor absoluto del promedio para obtener cantidades positivas. Un mayor valor del C.V. indica heterogeneidad de los valores de σ^0 y

un menor valor del C.V. indica homogeneidad de estos. Ya que el canal de polarización cruzada (VH) recoge información de objetos que despolarizan la señal enviada con mayor intensidad como es la vegetación. Este canal tendrá predominancia en la generación del compuesto multitemporal.

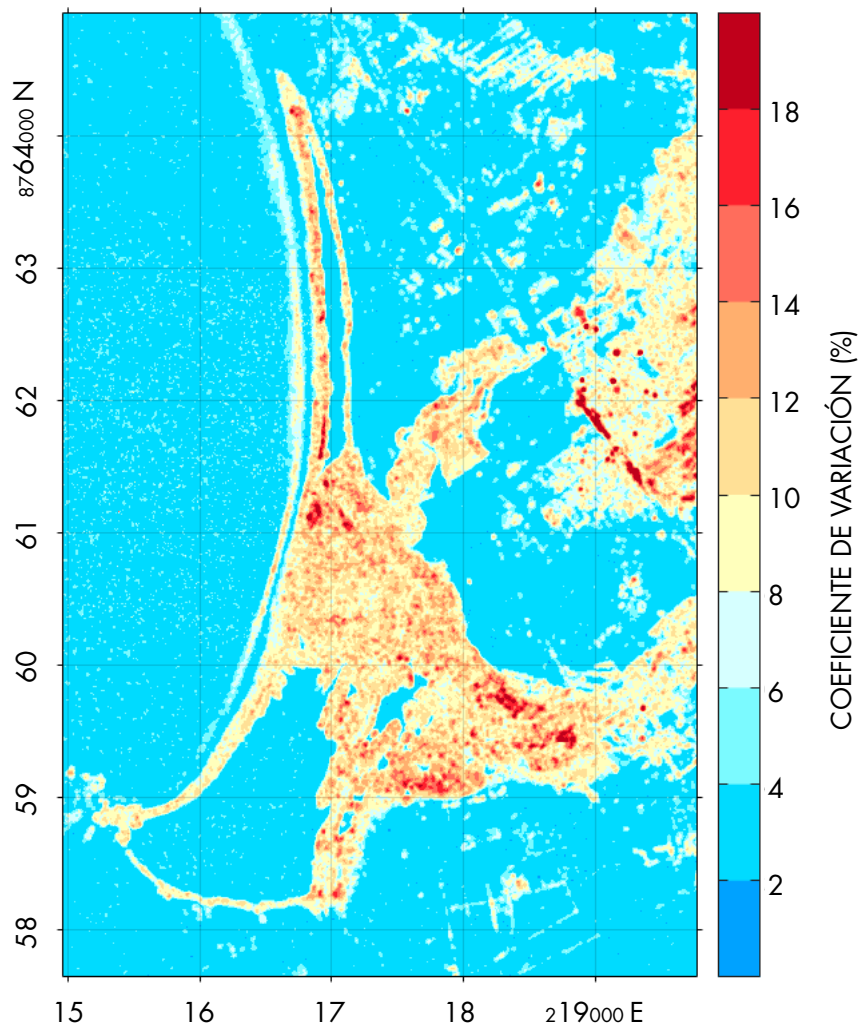


Figura 8. Distribución espacial del coeficiente de variación (%) para el área de estudio, C.V. del σ_{VH}^0

La extensión del humedal costero se mantiene dentro de límites fijos en el canal de polarización cruzada VH (Fig.4). La extensión mostrada en la Figura 4

corresponde a la extensión máxima, ya que es la representación estadística de todas las imágenes.

Anexo 2 Formación de RGB

El compuesto RGB multitemporal generado está formado por los canales **Red**: promedio (σ_{VV}^0) / (promedio(σ_{VV}^0) + promedio(σ_{VH}^0)), **Green**: promedio(σ_{VH}^0) y **Blue**: desviación estándar($\sigma_{VV}^0 / \sigma_{VH}^0$). El

promedio y la desviación estándar se calculan en la dimensión temporal. Aquí σ_{VV}^0 y σ_{VH}^0 representan las imágenes de diferentes fechas agrupadas.

Anexo 3 Puntos coordenados

Longitud	Latitud
-77,593199°	-11,167121°
-77,606798°	-11,216614°
-77,593144°	-11,191770°
-77,588300°	-11,194141°
-77,584674°	-11,191144°
-77,581831°	-11,204888°
-77,575834°	-11,208196°
-77,589138°	-11,218419°
-77,597202°	-11,222517°
-77,593725°	-11,171245°



Análisis de la cobertura vegetal en el humedal “El Paraíso”

R. Príncipe²⁹

RESUMEN

Se realizó la clasificación supervisada de la cobertura vegetal en el humedal el Paraíso haciendo uso de una imagen Sentinel 2A procesada a nivel de reflectancia de superficie; además se aplicó el algoritmo de máxima verosimilitud como método de clasificación en conjunto con los datos de campo, índice de vegetación e imágenes de satélite de alta resolución espacial. Los resultados mostraron

un total de diez clases de cobertura de suelo. De ellas, cinco representan a la cobertura vegetal con un 35,02 % del área total mapeada, predominando la clase vegetación tipo ii con el 17,72 % del área total, seguido de la clase vegetación tipo i con el 10,39 %.

Palabras Clave: Teledetección, Humedal.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente estudio fue elaborar el mapa de cobertura vegetal del humedal El Paraíso a través del uso de una imagen Sentinel 2A, el cual permitió ubicar y describir las unidades de cobertura vegetal. Para ello se utilizó la interpretación visual y los algoritmos de clasificación empleando datos de múltiples fuentes que se utilizan con mayor frecuencia en el monitoreo de humedales costeros y tienen alta precisión en regiones específicas (Chen et al., 2017; Davranche et al., 2010). Los algoritmos de clasificación empleados para la identificación,

delimitación y representación cartográfica de la distribución espacial de la cobertura vegetal en el humedal, permitieron identificar las coberturas vegetales predominantes, y para el proceso de clasificación se empleó el algoritmo de máxima verosimilitud (AMV) y como dato de entrada se emplearon las imágenes de satélite Sentinel 2A en conjunto con datos de campo y estudios anteriores sobre la comunidad vegetal realizados por Cruz et al. (2007), Ramirez et al. (2010) y Quiñones et al. (2017).

²⁹ eprincipe17@gmail.com

2. MATERIALES Y MÉTODOS

a. Set de datos

En el presente estudio se utilizó una imagen del satélite Sentinel 2A con fecha 2020/05/08, que fue obtenida gratuitamente desde la página web de la European Space Agency (ESA), descargada en un nivel de procesamiento que incluyó la magnitud reflectancia al tope de la atmósfera denominado "reflectancia TOA" y la ortorectificación. Para realizar el análisis de la cobertura vegetal fue necesario procesar la imagen a valores de reflectancia de superficie mediante la técnica de extracción de píxeles oscuros (Chávez, 1996). Esta corrección proporciona valores de reflectancia de superficie que son empleados como datos de entrada para el cálculo del índice de vegetación y el algoritmo de clasificación.

El sensor a bordo del satélite Sentinel 2A es el Multi-Espectral Image (MSI) que contiene trece bandas del espectro electromagnético. De ellas,

cuatro bandas poseen 10 m de resolución espacial (bandas: 2 azul, 3 verde, 4 rojo y 8 infrarrojo); seis tienen 20 m de resolución (bandas 5, 6, 7 y 8a infrarrojo cercano, y 11 y 12 infrarrojo lejano); los tres restantes tienen 60 m de resolución (bandas: 1 aerosol, 9 vapor de agua, y 10 cirrus).

b. Procesamiento

La clasificación de la cobertura vegetal se efectuó siguiendo tres etapas (Figura 1). La primera consta de tres procesos: la selección de imágenes, su calibración, y la selección de áreas de entrenamiento (selección de datos de entrada al Algoritmo de Máxima Verosimilitud-AMV). En la segunda etapa se aplicó la técnica de clasificación usando los procesos de validación mediante información de campo realizados en la zona. Y, por último, la tercera etapa consistió en evaluar estadísticamente los resultados de la clasificación.

³⁰ <https://scihub.copernicus.eu/>

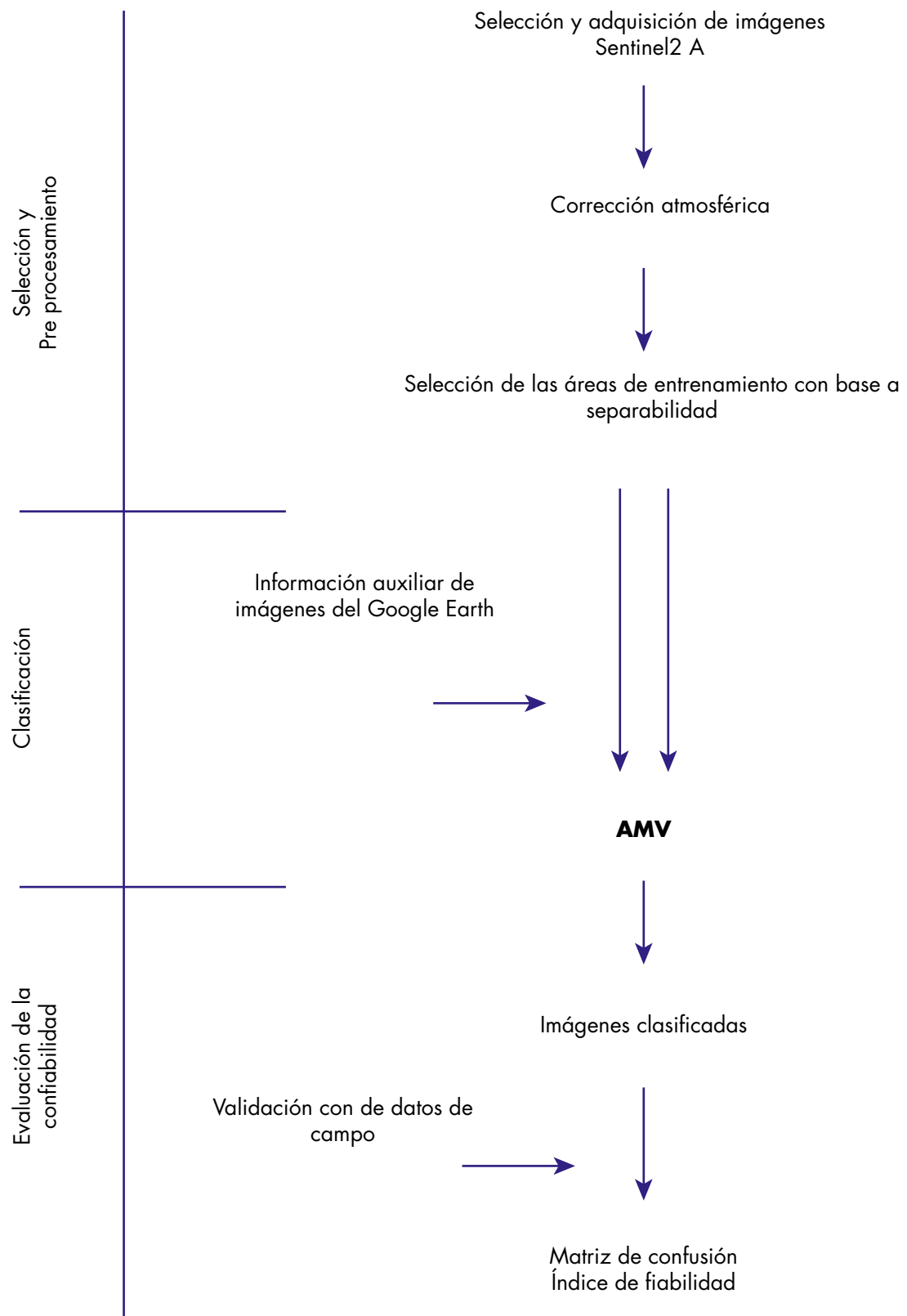


Figura 1. Diagrama de flujo describiendo el procedimiento de análisis del dato imagen Sentinel 2A.

Para la calibración de la imagen Sentinel 2A, se tomó en cuenta que la radiancia recibida por el sensor no es la radiancia que procede del suelo; esta última resulta, por un lado, reducida por la absorción atmosférica, y por otra incrementada por la dispersión. Por ello fue necesario realizar la corrección atmosférica empleando el método de extracción de los píxeles oscuros (Ec.1), donde se asume que en cualquier imagen pueden detectarse píxeles oscuros que serían aquellos con irradiancia nula, como son las superficies de agua de cierta profundidad y píxeles de sombra (Chavez, 1996).

$$ND'_{i,j,k} = ND_{i,j,k} - DN_{min,k} \quad (1)$$

Donde:

$ND'_{i,j,k}$ = Valor del nivel digital de la reflectancia de la superficie.

$ND_{i,j,k}$ = Valor del nivel digital de la reflectancia en el tope de la atmósfera.

$DN_{min,k}$ = Valor del nivel digital mínimo de la reflectancia en el tope de la atmósfera.

Una vez culminados los procesos de calibración de imagen, se procedió a la identificación de las

áreas de entrenamiento en la imagen falso color RGB:632 (Figura 7a). En una etapa inicial se utilizó como criterio la identificación de grandes superficies que tuvieran características similares; es decir las mismas o similares firmas espectrales. Luego, se analizó la separabilidad de firmas espectrales, método que permitió evaluar el grado en el cual la categoría puede ser distinguida espectralmente; siendo la separabilidad entre dos clases considerada buena cuando se acerca a 1,9, y es muy pobre cuando el valor está por debajo de 1 (Marcal et al., 2005). Esta etapa es una fase fundamental en el análisis de imágenes y su objetivo es categorizar los píxeles de la imagen en varias clases para obtener el mapa temático de las distintas coberturas existentes en la imagen (Ferrón, 2011). Las áreas de entrenamiento que se muestran en la Figura 2 fueron elegidas en dos o más zonas, donde un total de 5594 objetos (píxeles) fueron identificados para el entrenamiento, los cuales conforman 65 polígonos. A continuación, se ejecutó el algoritmo de clasificación denominado algoritmo de máxima verosimilitud (AMV), el cual según Maselli et al. (1992) es considerada uno de los procedimientos más acertados y eficientes, siempre que los datos sigan una distribución normal, razón por la cual en el presente trabajo se emplea dicho algoritmo.

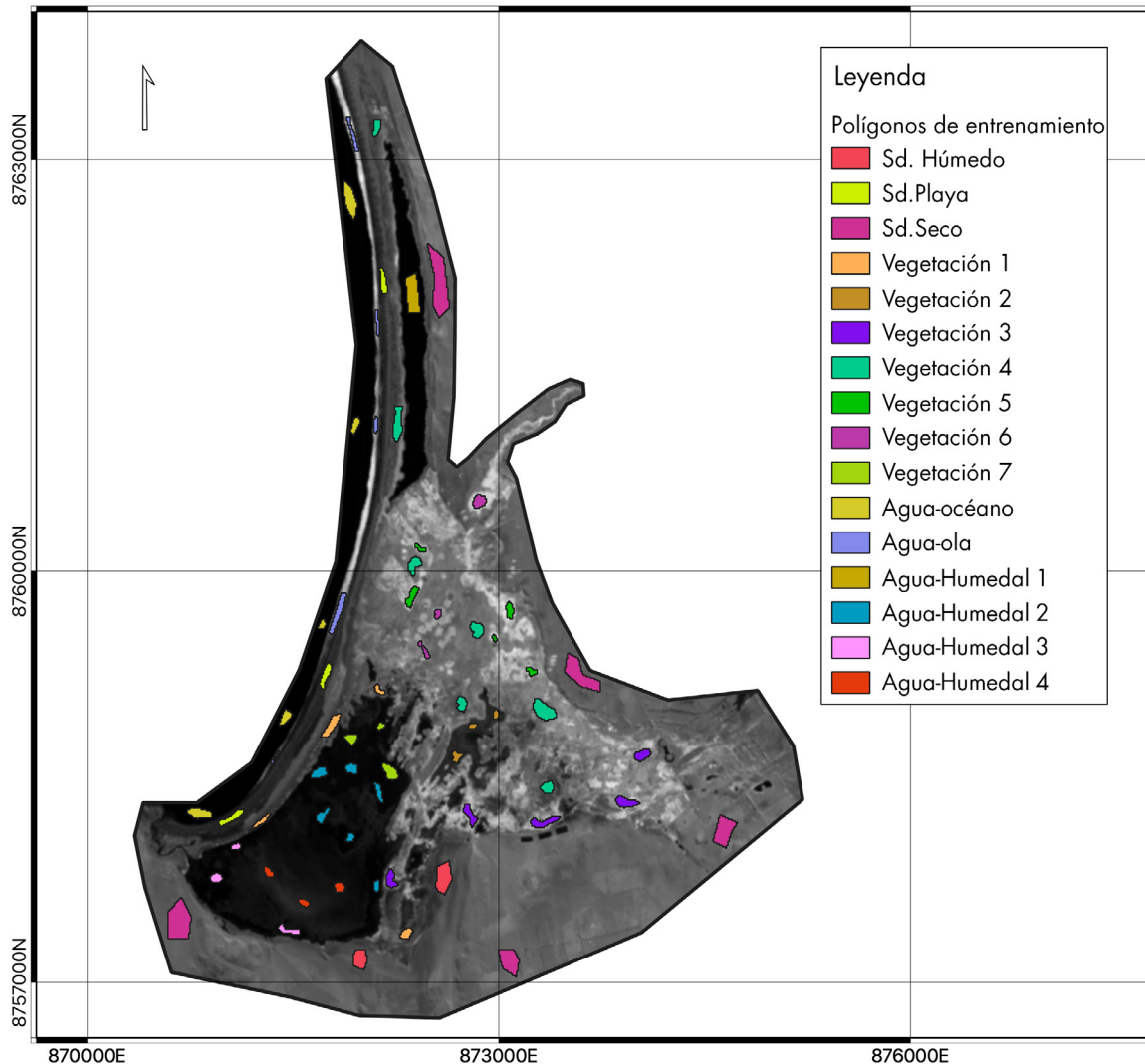


Figura 2. Polígonos de entrenamiento en la imagen Sentinel 2A.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el resultado de la clasificación fue validado con datos obtenidos en salidas de campo, procediéndose con el cálculo de exactitud para lo cual se construyó la matriz de confusión, la que permite confrontar la información de los sitios de muestreo y la imagen clasificada (García y Mas, 2008). Para construir la matriz se seleccionan al azar una serie de sitios de prueba independientes en la imagen, los cuales fueron localizados en

diferentes lugares de la zona del humedal. En total, se seleccionaron 45 sitios que conforman un total de 2234 píxeles, todos asignados a una de las clases de cobertura vegetal identificadas. A partir de la matriz de confusión se generó toda una serie de medidas estadísticas con las cuales se calculó la fiabilidad global del mapa, relacionando los elementos de la diagonal con el total de puntos muestreados.

c. Clases de cobertura de suelo



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)



(j)

Figura 3. Fotografías de las diez clases predominantes de coberturas empleadas: (a) V-i, vegetación tipo I; (b) V-ii, vegetación tipo II; (c) V-iii, vegetación tipo III; (d) V-iv, vegetación tipo IV; (e) V-v, vegetación tipo V; (f) L, laguna; (g) O, océano; (h) SdS, suelo desnudo seco; (i) SdH, suelo desnudo húmedo e (j) I, infraestructura.

Créditos: L. Céspedes.

Para la definición de las clases de cobertura vegetal se hizo uso de los trabajos de Cruz et al. (2007), Ramirez et al. (2010) y Quiñones et al. (2017) los cuales permitieron definir las especies vegetales presentes en cada clase. Se utilizaron un total de diez clases: V-i, vegetación tipo I; V-ii, vegetación

tipo II; V-iii, vegetación tipo III; V-iv, vegetación tipo IV; V-v, vegetación tipo V; L, laguna; O, océano; SdS, suelo desnudo seco; SdH, suelo desnudo húmedo e I, infraestructura. Las clases anteriores se aprecian en la Figura 3 y una breve descripción de la superficie en la Tabla 1.

3. RESULTADOS

En esta sección se discuten los resultados de la clasificación empleando la imagen en falso color (Fig. 7a), el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (Fig. 7b) y el algoritmo de máxima verosimilitud. La combinación de bandas 632 para el sensor MSI fue del siguiente modo: banda 6 en el rojo, banda 3 en el verde y la banda 2 en el azul, lo que permitió realizar el análisis

visual de la zona de estudio. Esta combinación de bandas permitió resaltar la vegetación del resto de cobertura en color rojo; a su vez, las zonas resaltadas en color rojo corresponden a valores de NDVI por encima de 0.3 aproximadamente siendo estas los valores más elevados. La clasificación mediante AMV identificó diez clases de cobertura de suelo mostradas en la Tabla 1.

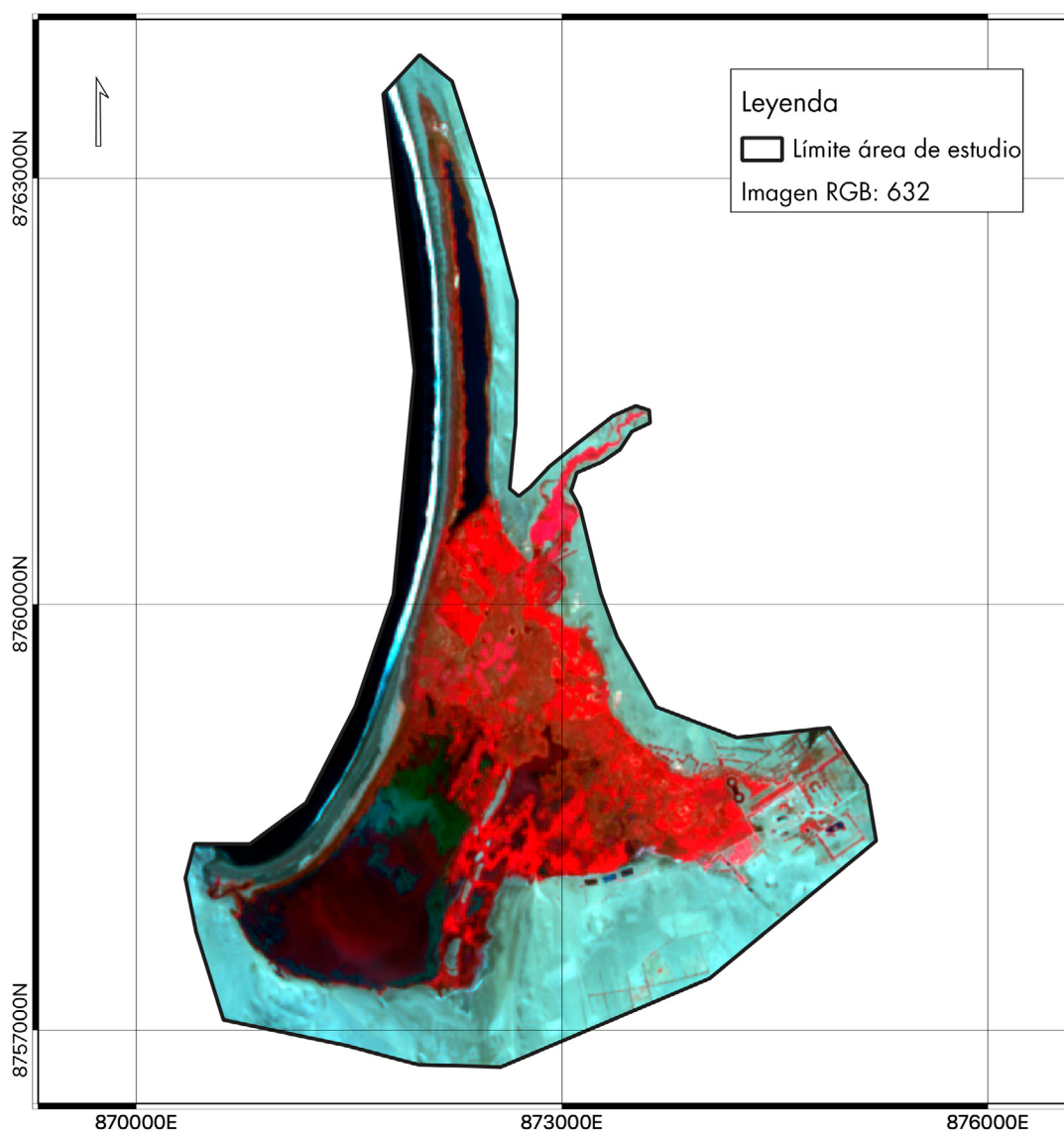


Figura 7a. Imagen de falso color RGB:632.

Fuente: Elaboración propia.

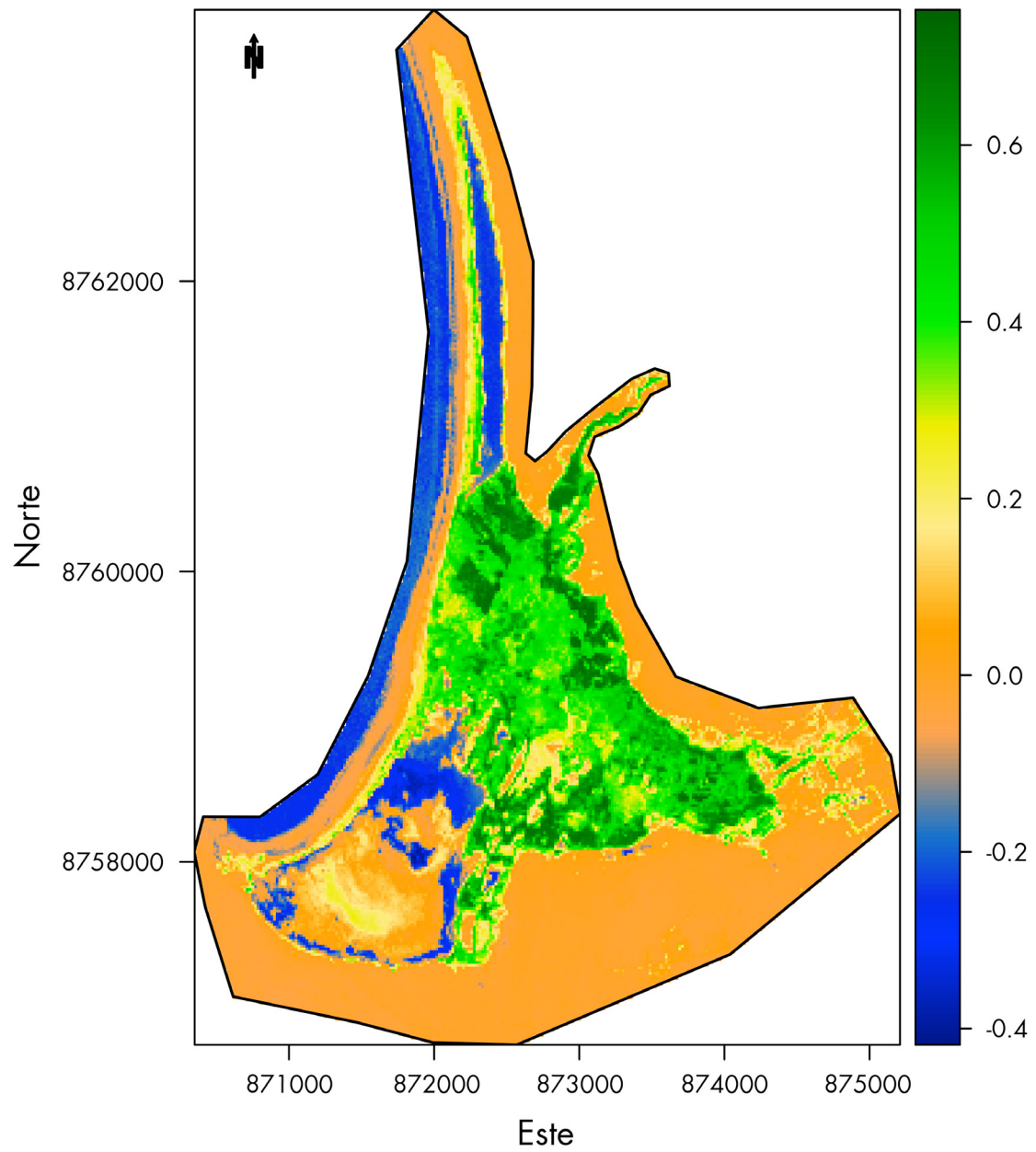


Figura 7b. Índice de vegetación de diferencia normalizada de la imagen Sentinel 2A correspondiente a la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Tipos de cobertura de suelo correspondiente al área de estudio

Tipo de cobertura	Símbolo	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Vegetación tipo I	V-i	139,51	10,39
Vegetación tipo II	V-ii	237,86	17,72
Vegetación tipo III	V-iii	58,29	4,34
Vegetación tipo IV	V-iv	21,23	1,58
Vegetación tipo V	V-v	13,28	0,99
Laguna	L	191,63	14,28
Océano	O	117,42	8,75
Sd Seco	SdS	449,75	33,50
Sd húmedo	SdH	96,86	7,22
Infraestructura	I	16,59	1,24
Superficie total		1 342,41	100,00

La extensión total de cobertura vegetal identificada abarca 470,17 ha, de las cuales la clase vegetación tipo ii es la predominante y representa 17,72 % ha del total, seguida de la clase vegetación tipo i con el 10,39 % del total; sumando el 28,11 % del área de estudio. Asimismo, el cuerpo de agua salobre (laguna

norte y sur) dentro del humedal tiene una extensión de 191,63 ha que corresponden al 14,28 % del total; mientras que la clase suelo desnudo húmedo abarca 96,86 ha, la que sin embargo podría representar cobertura vegetal incipiente, ya que en estas zonas se apreció vegetación en crecimiento.

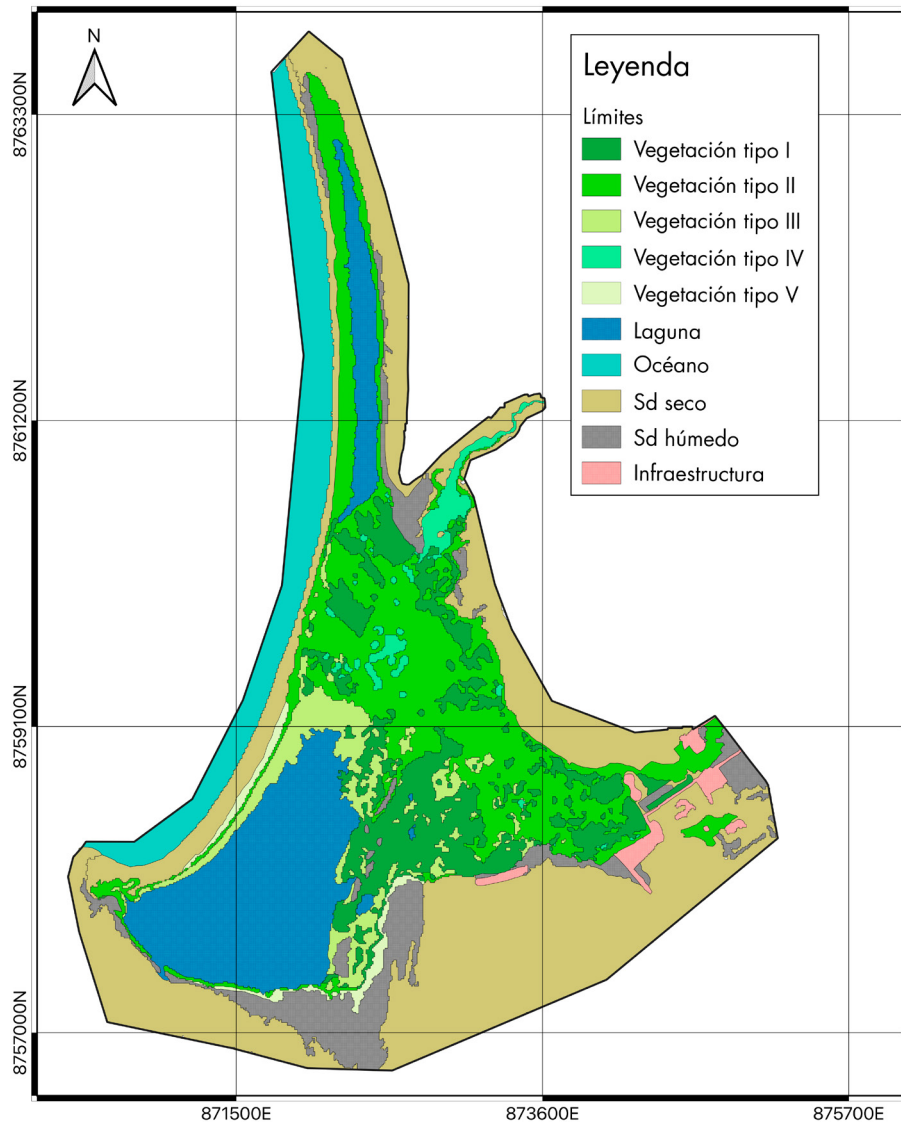


Figura 8. Mapa de cobertura vegetal del humedal, correspondiente a la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 8 muestra el mapa de clasificación de la cobertura de suelo del área de estudio, donde se ha logrado una exactitud del 85%, obtenida a partir de la matriz de confusión. A continuación, se describen las clases de cobertura vegetal presentes en la zona de estudio, cada una de ellas fueron identificada en la salida de campo (Figura 2).

Vegetación tipo I (V-i)

Para estas zonas los valores del NDVI corresponden a los más elevados siendo estas de 0,6 a 0,75. La cobertura vegetal para estas zonas según Quiñones et al. (2017) corresponden a la comunidad carrizal/gramadal con cf. Arundo donax y Paspalum

vaginatum como especies dominantes. Otras especies presentes: *Tessaria integrifolia* y *Scirpus americanus*.

Vegetación tipo II (V-ii)

Estas zonas corresponden a zonas de cobertura vegetal de valores de NDVI en el intervalo de 0,33 a 0,56. Esta superficie está cubierta principalmente por *Typha domingensis* "totora", *Scirpus americanus* "junco", *Sarcocornia fruticosa* "salicornia" y *Distichlis spicata* "grama salada" (Cruz et al., 2007).

Vegetación tipo III (V-iii)

Estas zonas corresponden a la vegetación principalmente de *S. americanus*, por *S. fruticosa* hacia el oeste, *S. portulacastrum* y en menor densidad la *salicornia* (*salicornia* sp). Estas zonas corresponden a una alta densidad vegetal pero de bajo tamaño, correspondiendo a valores de NDVI alrededor de 0,2.

Vegetación tipo IV (V-iv)

Estas áreas corresponden a zonas de ingreso de agua dulce, la cobertura vegetal correspondiente a estas zonas son principalmente *Arundo donax* "carrizo", *Pennisetum purpureum* "carricillo",

Tessaria integrifolia "pájaro bobo" y en menor proporción *Scirpus americanus* o "junco".

Vegetación tipo V (V-v)

Cobertura vegetal pegada al suelo, en estas zonas predomina la vegetación de tipo *Sarcocornia fruticosa* "salicornia".

Laguna (L)

Corresponde al cuerpo de agua salobre, siendo la parte norte más profunda que la sur.

Océano (O)

Es el litoral abierto adyacente al humedal.

Suelo desnudo seco i (SdS)

Corresponden a zonas de arena sin cobertura vegetal contiguos al humedal.

Suelo desnudo húmedo ii (SdH)

Corresponden a zonas de suelo desnudo húmedo, en estas áreas la cobertura vegetal es de tipo *salicornia* rala o en crecimiento.

Infraestructura (I)

Corresponden a infraestructura desarrollada por el ser humano, como estanques y viviendas. También se incluyen en esta clase algunas áreas de cultivo.

4. CONCLUSIONES

Las zonas de muestreo permitieron caracterizar la cobertura de suelo existente en el área de estudio: la extensión total del área mapeada abarca 1342,41 hectáreas, de las cuales la CV representa el 35,02 % del total, el cuerpo de agua dentro del humedal (lagunas norte y sur) representa el 191,63 ha y corresponde al 14,28 % del total. La cobertura vegetal más extensa es la clase vegetación tipo ii (V-ii) con 237,86 hectáreas,

seguido de la vegetación tipo i (V-i) con 139,51 hectáreas, sumando entre ambos el 28,11 % de la superficie del área de estudio. Asimismo, existe una extensión considerable de cobertura de vegetación tipo iii con 58,29 hectáreas. Se espera que esta información pueda servir de base para el monitoreo de la cobertura vegetal a través del tiempo y conocer su dinámica, establecer tendencias y proyectar acciones.

Referencias

- Chavez, J. (1996). Image Based atmospheric corrections - revisited and improved. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.62, N°.9, pp. 1025-1036.
- Chen, B.Q., Xiao, X.M., Li, X.P., Pan, L.H., Doughty, R., Ma, J., Dong, J.W., Qin, Y.W., Zhao, B., Wu, Z.X., Sun, R., Lan, G.Y., Xie, G.S., Clinton, N., Giri, C. (2017). A mangrove forest map of China in 2015: analysis of time series Landsat 7/8 and Sentinel-1A imagery in Google Earth Engine cloud computing platform. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 131, 104–120. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.011>.
- Davranche, A., Lefebvre, G., Poulin, B. (2010). Wetland monitoring using classification trees and SPOT-5 seasonal time series. *Remote Sens. Environ.* 114, 552–562. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.009>.
- Ferrón, R. (2011). Optimización de la clasificación supervisada basada en objetos aplicada a ambientes rurales a partir de ortoimágenes de geoeye-1 (tesis de pregrado). Universidad de Almería, España.
- García, T. y Más, J. (2008) Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso de suelo en el suroeste de México. *Boletín del Instituto de Geografía-UNAM*, SSN 0188-4611. 67, pp. 7-19.
- Marcal, A., Borges, J., Gomes, J., and Da Costa, P. (2005). Land cover update by supervised classification of segmented ASTER image. *International Journal of remote Sensing*, 26(7):1347-1362.
- Maselli, F., Conese, C., Petkiv, L. and Resti, R. (1992). Inclusion of prior probabilities derived from a nonparametric process into the maximum likelihood classifier. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 58, pp. 201-207.
- Cruz, Z., Fernando, A., Burger, H. y Borgesa, R. (2007). Evaluación de aves en la laguna El Paraíso, Lima, Perú. *Rev. Peru. Biología.* 14(1):139 – 144.
- Ramírez, D., Aponte, H. y Cano, A. (2010). Flora vascular y vegetación del humedal de Santa Rosa (Chancay, Lima). *Rev. Peru Biología.* 17(1): 105-110.
- Quiñóñez, A. y Hernández, F. (2017). Uso de hábitat y estado de conservación de las aves en el humedal El Paraíso, Lima, Perú. *Rev. Peru Biología.* 24(2):175-186.



Análisis temporal de la vegetación en el humedal El Paraíso

R. Príncipe³¹ y L. Céspedes³²

RESUMEN

Se analizó la variación en la vegetación y salud vegetal del humedal El Paraíso haciendo uso de métodos de teledetección, que incluyeron el cálculo del índice NDVI y series de tiempo de imágenes satelitales del tipo LandSat (MSS, ETM, TM y OLI) y tipo MODIS, para los periodos 1985-2020 y 2000-20, utilizando la plataforma del Google

Earth Engine (GEE) para la integración de datos. Los resultados mostraron una tendencia positiva en la actividad de la vegetación, con valores de NDVI que van en incremento para el periodo de tiempo analizado. Se espera que estos resultados sean un insumo para la gestión integrada del ecosistema.

Palabras Clave: Teledetección, Ecosistema.

1. INTRODUCCIÓN

Estudios recientes indican que tanto la extensión como la calidad de los humedales a nivel mundial ha disminuido en los últimos años, y llegaría hasta un 40% de pérdida de área en los últimos cuarenta años, y la principal y más visible consecuencia es la reducción de los servicios ecosistémicos que los humedales brindan a la sociedad (Gardner et al., 2015) (Leadley et al., 2014). Medir estos cambios con los métodos tradicionales de cartografiado y monitoreo de los humedales requiere de tiempo y trabajos de campo, con la limitación de que no permiten detectar cambios en grandes extensiones de superficie (Ghosh et al., 2016). Por esta razón, el método de teledetección es una buena alternativa

que proporciona datos para el monitoreo del uso y cambios de la cobertura de la tierra en tiempos cercanos al tiempo real para diferentes escalas y resoluciones (Wang et al., 2018). La serie de datos de imágenes LandSat y MODIS en conjunto con la plataforma de computación en la nube proporciona una gran capacidad de información para el monitoreo y análisis de los cambios de la tierra en la superficie terrestre empleando para ello imágenes de varios petabytes (Gorelick et al., 2017).

En el presente estudio se integran los datos disponibles de la serie LandSat (TM, ETM+ y OLI) y MODIS en la plataforma del Google Earth Engine (GEE), correspondiente al periodo de años 1985-

³¹ eprincipe17@gmail.com

³² Ministerio del Ambiente - lcespedesre@gmail.com

2020 y 2000-20 respectivamente. A partir de la información generada se extrajo el Índice de Diferencia Normalizada (NDVI, siglas en inglés), el cual permitió realizar un análisis temporal del humedal proporcionando información de la salud vegetal y la productividad neta primaria³³, o NPP

por sus siglas en inglés. Por otro lado, Yengoh et al. (2015) refieren que existe una alta correlación entre el NDVI y NPP y MINAM (2014) afirma que el propósito de emplear el NDVI es monitorear la tierra en términos de pérdidas a largo plazo de la productividad primaria de los ecosistemas.

2. SET DE DATOS Y PROCESAMIENTO

a. Índice de vegetación

Los índices de vegetación son transformaciones matemáticas de las bandas espectrales sometidas a correcciones radiométricas y atmosféricas para un mejor resultado en comparación a los originales captadas por el sensor remoto y es calculado mediante la Ecuación (1) (Chen et al., 2005).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde, ρ_{NIR} y ρ_R son las reflectancias en el infrarrojo cercano y el rojo. Los valores que adopta el NDVI se encuentran en el rango de -1 a +1. Los valores de NDVI en el rango 0,2 – 0,8 corresponden a suelos con alta densidad y vigor vegetal, mientras que valores de 0 a 0,2 son suelos desnudos a suelo con vegetación rala y los valores negativos corresponden a superficies sin cobertura vegetal, pudiendo referirse a cuerpos de agua, nieve y/o nube (Sobrino, 2000).

Para realizar la serie de tiempo del índice NDVI con los datos del satélite LandSat se emplea la Ecuación (1), para el cual se seleccionó los datos disponibles en la plataforma del GEE de la serie de datos de los sensores TM, ETM+ y OLI correspondiente a los Satélites LandSat 5, 7 y 8 respectivamente. Estos datos

corresponden a imágenes producto reflectancia de superficie corregida atmosféricamente, están compuesto de las bandas visible, infrarrojo y térmico, de los cuales se utilizaron aquellos que permiten calcular el NDVI mediante la Ecuación (1) y tienen una resolución espacial de 30 metros. Para la generación del NDVI los datos que se encuentran en la plataforma GEE fueron filtrados mediante la máscara de nube, sombra y saturación por píxel (USGS, 2020a).

Para el caso de los datos MODIS se emplearon imágenes producto, los cuales poseen información de los índices de vegetación. Dichos datos son denominados MOD13Q1 y son generados cada 16 días a una resolución espacial de 250 metros como un producto nivel 3. El producto MOD13Q1 proporciona dos capas de vegetación primarias: el primero corresponde al Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), y la segunda al Índice de Vegetación Mejorada (EVI), este último ha mejorado la sensibilidad en las regiones de alta biomasa. El dato producto MOD13Q1 es el resultado de aplicar el algoritmo que elige el mejor valor de píxel disponible de todas las adquisiciones del período de 16 días. Finalmente, los criterios utilizados fueron nubes bajas, ángulo de visión bajo y el valor más alto de NDVI / EVI (USGS, 2020b).

³³ La productividad neta primaria es la razón a la que la energía es almacenada como biomasa en las plantas.

b. Serie temporal

Las series de tiempo (ST) son un conjunto de observaciones sobre valores que toma una variable en diferentes momentos del tiempo. Los datos se pueden comportar de diversas maneras en el tiempo, como tendencia, ciclo y podría tener una forma aleatoria o variar estacionalmente (Ríos, 2008). Las ST caracterizan la dinámica de la vegetación en diferentes escalas de tiempo, por lo tanto, distinguen las modificaciones que ocurre en la salud vegetal (Minam, 2014).

Las ST serán descompuestas en tendencia, estacionalidad y efecto aleatorio, los cuales nos permitirán analizar y visualizar las fechas de ocurrencia de cambios y tendencias de los valores del índice de vegetación. Este proceso de descomposición se realizó empleando una librería del software R.

c. Procesamiento mediante Google Earth Engine

La plataforma de Google Earth Engine (GEE) es una plataforma de computación en la nube para análisis de datos geoespaciales. Se puede acceder de manera gratuita a un conjunto de datos producto de imagen satelital en conjunto, con la capacidad de procesarlos de manera rápida a través de la paralelización masiva (García, et al., 2018). El catálogo de datos del GEE incluye datos de toda la serie LandSat procesado por la USGS, además incluye el set de datos producto MODIS y otros

datos. En este trabajo los datos requeridos fueron las de la serie LandSat y MODIS.

Por otro lado, el motor de computación de GEE ofrece dos interfaces de aplicación para programar³⁴, o API por sus siglas en inglés: JavaScript y Python, los cuales permiten desarrollar los algoritmos de automatización. Para el presente estudio se seleccionó la API de Python, ya que nos permite usar funciones propias de Python para la visualización y análisis de los resultados a través de Notebooks creados en VisualCodeStudio³⁵.

d. Tendencias lineales

Existen varios métodos para estimar una tendencia, siendo una de ellas la regresión lineal, pero también se podría emplear otras regresiones como la cuadrática, logística, exponencial, entre otras. Una manera de apreciar la tendencia es suavizando la serie, y la idea central según Ríos (2008), es definir a partir de la serie observada una nueva serie que suavice los efectos ajenos a la tendencia como estacionalidad y efectos aleatorios de tal manera que podamos visualizar la tendencia. El análisis de la pendiente en una regresión lineal nos proporciona información del incremento paulatino o decremento de valores en la serie de tiempo. De esta forma para el caso de las ST del NDVI, una pendiente positiva significa un incremento en la actividad fotosintética, una pendiente negativa significa una disminución y una pendiente aproximada a cero resultaría en una posible estabilidad de la vegetación.

3. RESULTADOS

La serie de tiempo de los datos de índice físico usados en el presente estudio son los valores promedio de todos los píxeles 30 m x 30 m para el caso de LandSat y de 250 m x 250 m en el de MODIS.

Estos resultados de la serie de tiempo se presentan como un análisis general del área de estudio, el cual fue seleccionado tomando un polígono que cubre el humedal. En el caso de los datos LandSat

³⁴ En la actualidad también se ha desarrollado un API en R.

³⁵ <https://code.visualstudio.com>

que son mostrados en la Figura 1a, representan la media de un total de 188 imágenes, y permiten apreciar una clara distinción entre los valores desde el color verde que corresponde a cobertura vegetal hasta el color rojo que vendría ser cuerpo de agua y suelo desnudo. Asimismo, la Figura 1b representa

el índice de vegetación a partir de datos MODIS, esta imagen es el resultado de extraer la media del conjunto de datos para el intervalo 2000-20 y suman un total de 470 imágenes. En esta imagen se aprecia valores en un solo color el cual no permite diferenciar el índice de vegetación por colores.

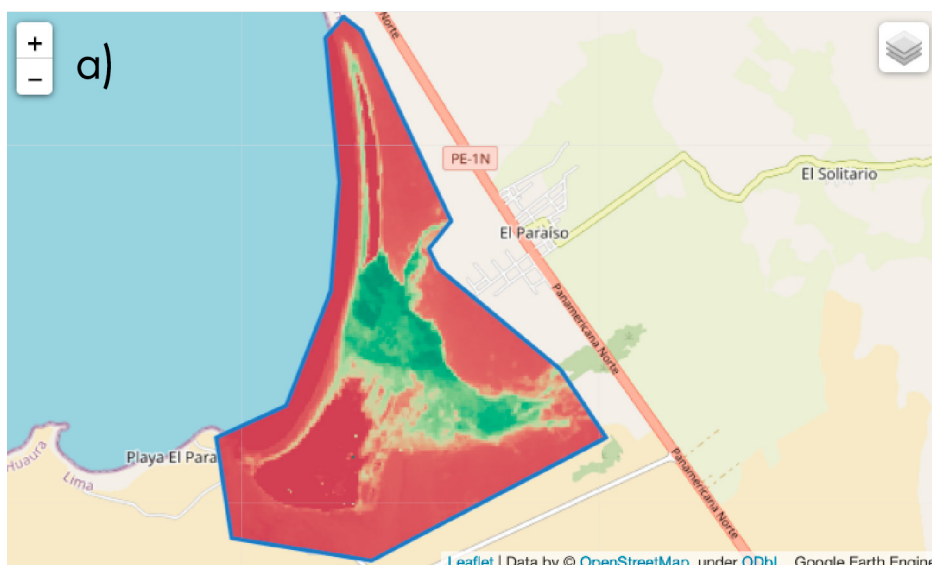


Figura 1a. Media de Imágenes de índice de vegetación de datos LandSat para el periodo 1986-2020.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 1b. Media de Imágenes de índice de vegetación de datos MODIS para periodo 2000-20.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, con la finalidad de identificar la respuesta temporal de la cobertura vegetal presente durante el periodo 1985-2020 con datos imagen LandSat, y para el periodo 2000-20 con datos imagen MODIS, se realizó la serie de tiempo que permitió observar valores en el tiempo del índice de vegetación (Figura 2 y Figura 3). En secciones posteriores se discuten con mayor detalle.

a. Series de tiempo – datos LandSat y MODIS

En la Figura 2 se aprecia la serie de tiempo del índice NDVI obtenida a partir de datos imagen LandSat, donde los datos originales fueron sometidos a un proceso de filtrado dando como resultado la serie de tiempo mostrado. Además, en esta figura se aprecia la línea de tendencia positiva en color

rojo, lo cual sugiere un incremento en la actividad fotosintética. Mientras que para el periodo de años 1985-2013 la tendencia fue de pendiente negativa representando a una posible disminución de la actividad fotosintética, mientras que a partir del año 2013 hasta la actualidad los valores del NDVI van en incremento; es decir la actividad fotosintética en este periodo se incrementó. Este último es contrastado con la serie de tiempo NDVI obtenido a partir de datos MODIS (Figura 3), el intervalo de tiempo correspondiente a los datos MODIS son del periodo de años 2000 - 20³⁶, a partir de esta serie de tiempo se sostiene que la tendencia lineal es de pendiente positiva, es decir también muestra un incremento en la actividad fotosintética.

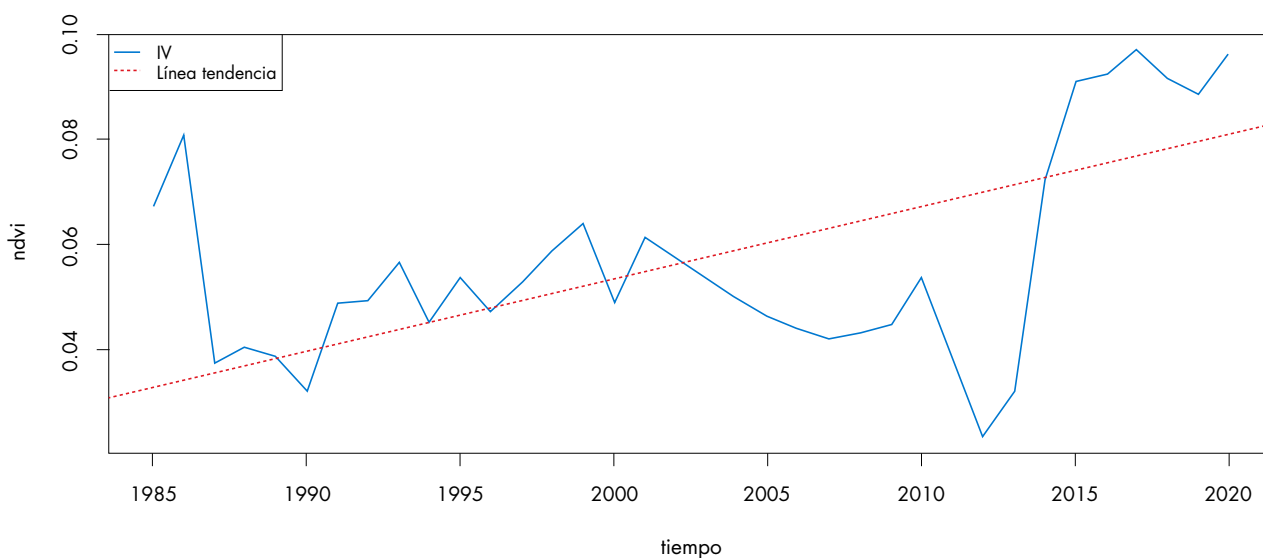


Figura 2. Serie de tiempo del índice NDVI para el intervalo de años 1985-2020 obtenido a partir de los datos imagen LandSat. La recta de color rojo representa a la tendencia lineal positiva.

³⁶ Los datos MODIS están disponibles a partir del año 2000.

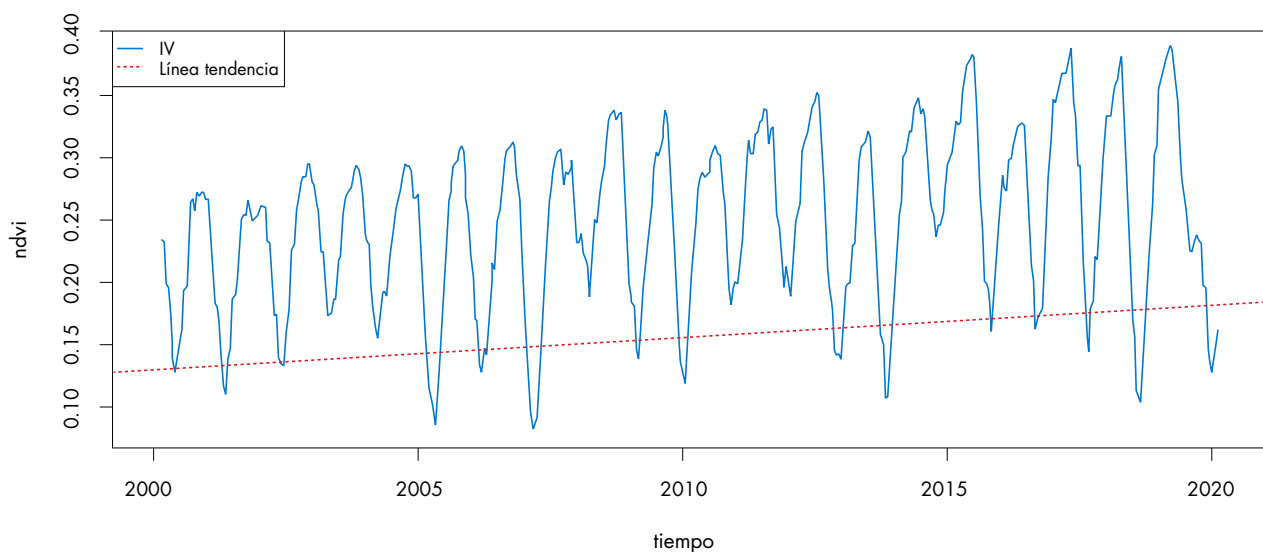


Figura 3. Serie de tiempo del índice NDVI para el intervalo de años 2000-2020 obtenido a partir de los datos imagen MODIS. La recta de color rojo representa a la tendencia lineal positiva.

Para observar los cambios ocurridos en la serie de tiempo del índice de vegetación se realiza la descomposición de la misma serie tal como se muestra en las Figuras 4 y 5; donde la primera fila representa la serie de tiempo original (sin filtrado), la segunda fila representa la estacionalidad, la tercera representa la tendencia y cambios, y la última es el ruido o resto de la ecuación

A partir de la Figura 4, se sostiene que uno de los cambios más representativos ocurre alrededor del año 1995 para iniciar a partir de este punto con una tendencia negativa hasta el año 2013 aproximadamente, para luego cambiar positivamente hasta la actualidad (2020).

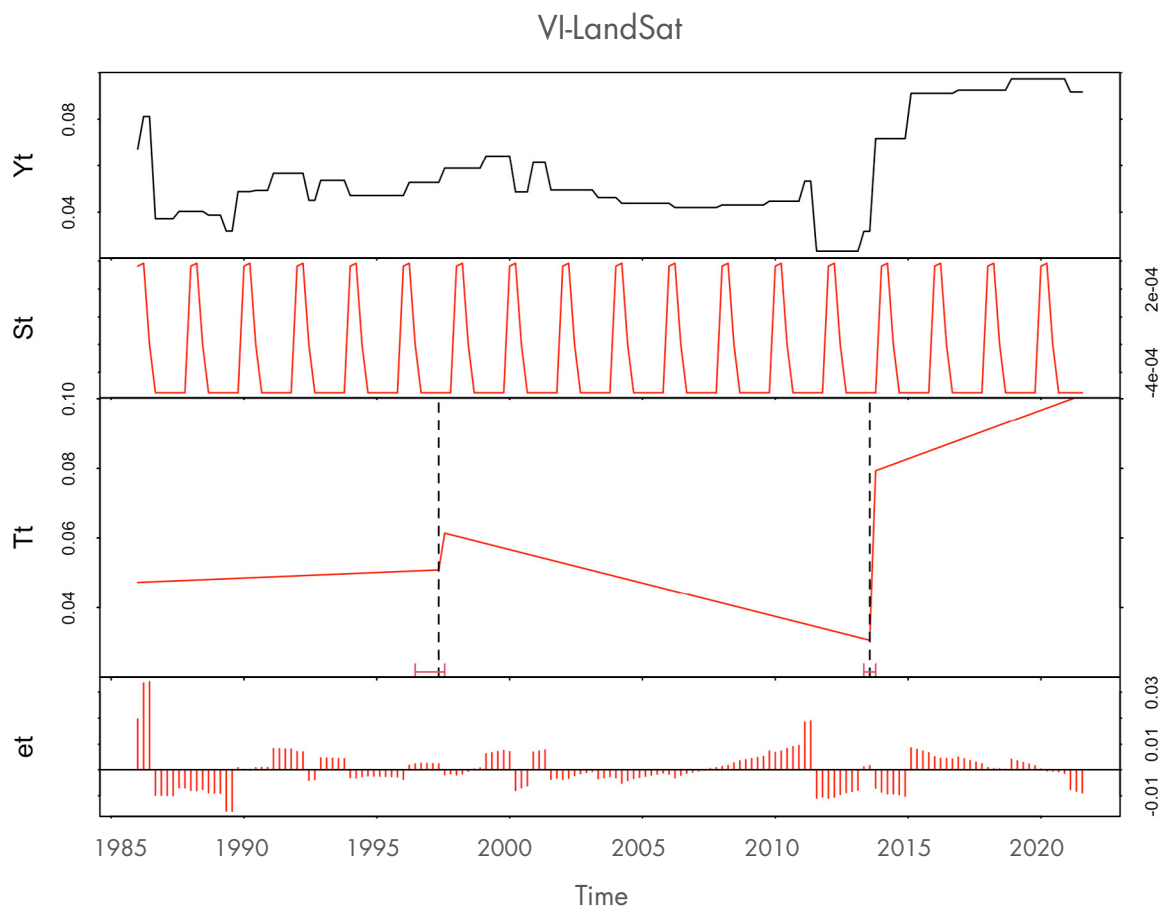


Figura 4. Descomposición de la serie temporal NDVI a partir de datos LandSat correspondiente al intervalo de tiempo 1985 a 2020.

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, a partir de la Figura 5 que es la descomposición de la serie de tiempo con datos MODIS la fila de tendencia no muestra cambios o rupturas de

serie, no obstante, se aprecia una línea de tendencia positiva. Es decir, los datos MODIS no permitieron observar los cambios bruscos de valor de NDVI.

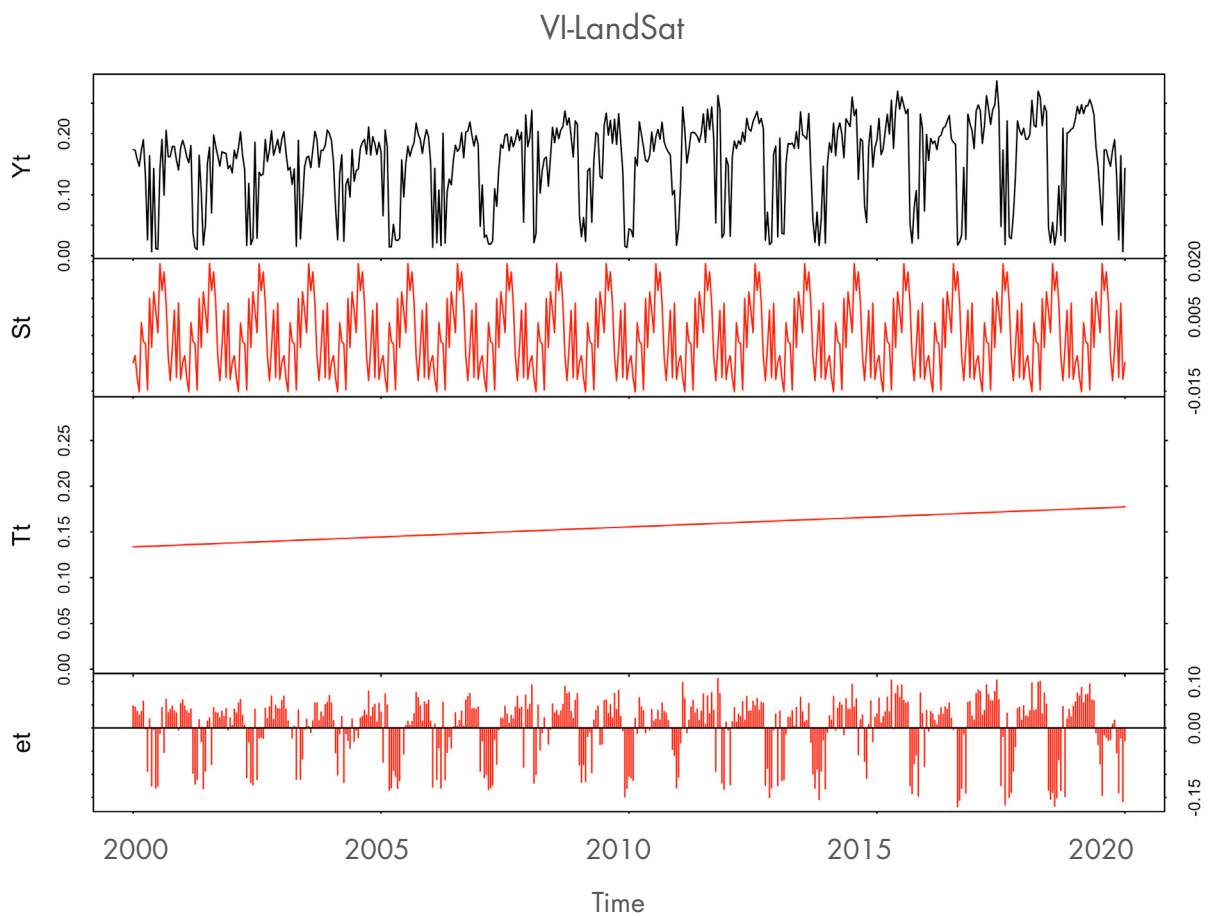


Figura 5. Descomposición de la serie temporal NDVI a partir de datos MODIS correspondiente al intervalo de tiempo 2000 a 2020.

Fuente: Elaboración propia.

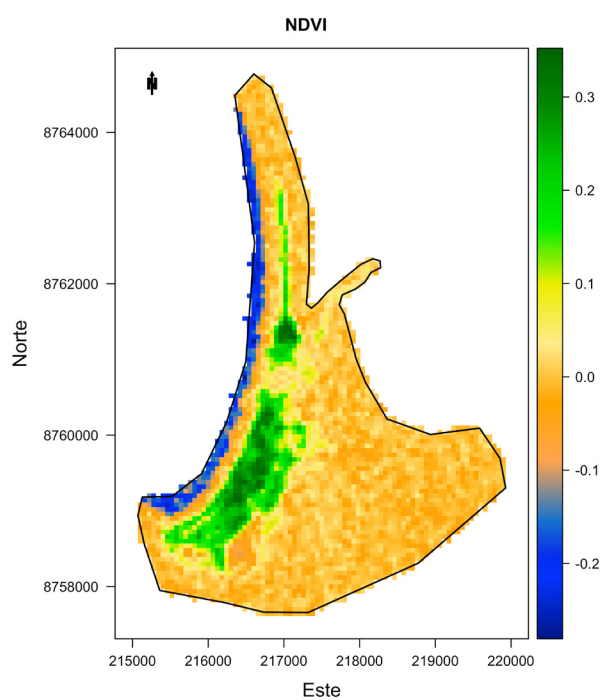
b. Análisis de cambios de áreas de la cobertura vegetal

Se analizó el índice de vegetación empleando imágenes LandSat de diferentes fechas los cuales son mostrados en la Tabla 1. Los intervalos de tiempo fueron de diez años aproximadamente, tomados a partir del año 1976. El primer dato de la Tabla 1

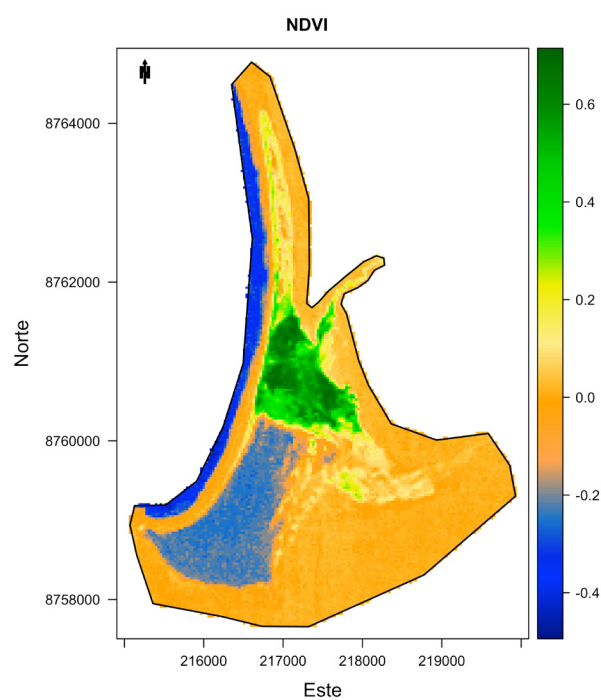
corresponde al sensor MSS del satélite LandSat 2 cuya resolución espacial es de 60 m en el visible e infrarrojo, posee cuatro bandas (dos bandas en el visible y dos bandas en el infrarrojo), mientras que los demás datos corresponden a una resolución de 30 m y poseen una resolución espectral de siete bandas para el caso del TM y de once bandas para el sensor OLI/TIRS.

Tabla 1. Relación de imágenes MSS, TM y OLI

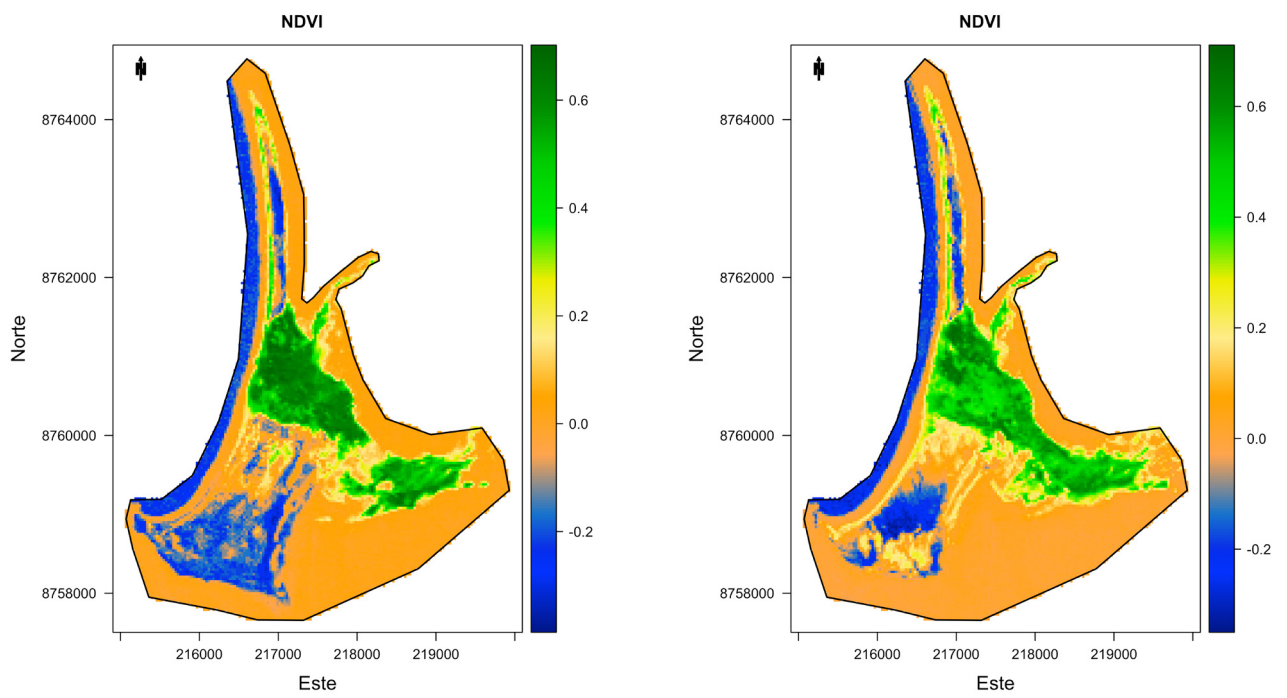
Sensor	Fecha	Identificador de producto	Satélite
MSS	1976-02-17	LM02_L1TP_007068_19760217_20180424_01_T2	LandSat 2
TM	1986-04-10	LT05_L1TP_008068_19860410_20170218_01_T1	LandSat 5
TM	1995-04-19	LT05_L1TP_008068_19950419_20170108_01_T1	LandSat 5
TM	2005-04-14	LT05_L1TP_008068_20050414_20161126_01_T1	LandSat 5
OLI	2015-03-25	LC08_L1TP_008068_20150325_20170411_01_T1	LandSat 8
OLI	2020-04-23	LC08_L1TP_008068_20200423_20200508_01_T1	LandSat 8



(a) 1976 - MSS



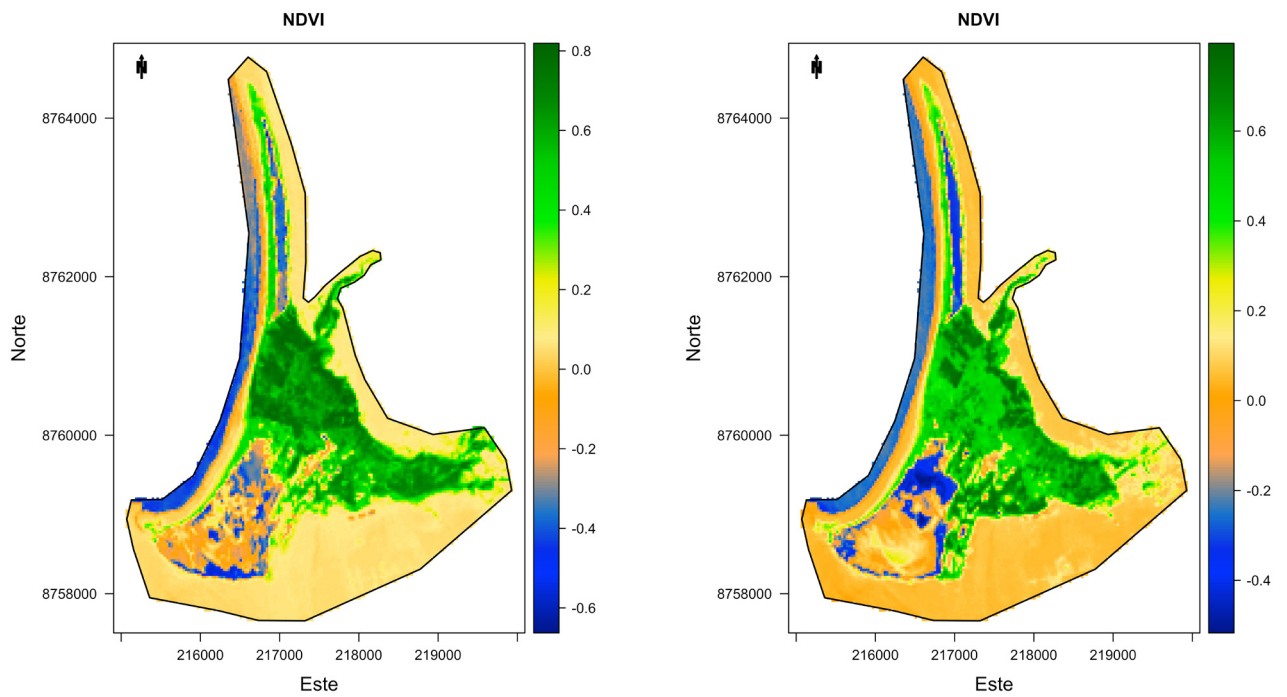
(b) 1986 - TM



(c) 1995 - TM

(d) 2005 - TM

Figura 6. Imágenes NDVI de los sensores MSS y TM del satélite LandSat



(a) 2015 - OLI

(b) 2020 - OLI

Figura 7. Imágenes NDVI de los sensores OLI del satélite LandSat

Aplicando la Ecuación (1) y empleando como dato de entrada las bandas del rojo e infrarrojo de la lista de imágenes mostrado en la Tabla 1 se calculó el NDVI las cuales son mostradas en las Figuras 6 y 7. Este índice permite resaltar la vegetación del resto de coberturas del suelo tomando valores por encima de 0,1 y que corresponden a los colores verde y amarillo. Con fines de separar únicamente la cobertura vegetal, se seleccionó valores por encima de 0,1 creando de esta manera una máscara que solo representa la vegetación. Posteriormente, para hacer el cálculo del área, se realizó el conteo del número de píxeles que comprende el área seleccionada mediante el umbral de 0,1, luego de proceder con la multiplicación por el área unidad de 60 m x 60 m para MSS y 30 m x 30 m para TM y OLI. Las Figuras 6 y 7 muestran que para el año 1976 se observa poca área de cobertura vegetal en comparación a los demás años. Para los años

siguientes se aprecian incrementos de cobertura vegetal con valores de NDVI por encima de 0,4, lo cual indica que es una vegetación saludable y densa, mientras que aquellas zonas donde el NDVI está en el rango de 0,1 a 0,4 posiblemente son zonas de cobertura vegetal poco densa como la salicornia (*salicornia spp*), cabe indicar que estos valores bajos del NDVI no son indicadores de que la vegetación esté poco saludable.

Por otro lado, en el análisis de tendencia de la Figura 8a del área de cobertura vegetal se aprecia una línea de tendencia de incremento de valores desde el año 1976, donde el mayor cambio ocurre entre los años 1986-95 siendo esta de 132,21 ha. Mientras que para los años siguientes los cambios de área son menores en comparación al intervalo antes mencionados, con incrementos aproximadamente constantes tal como se aprecia en la gráfica de barras de la Figura 8b.

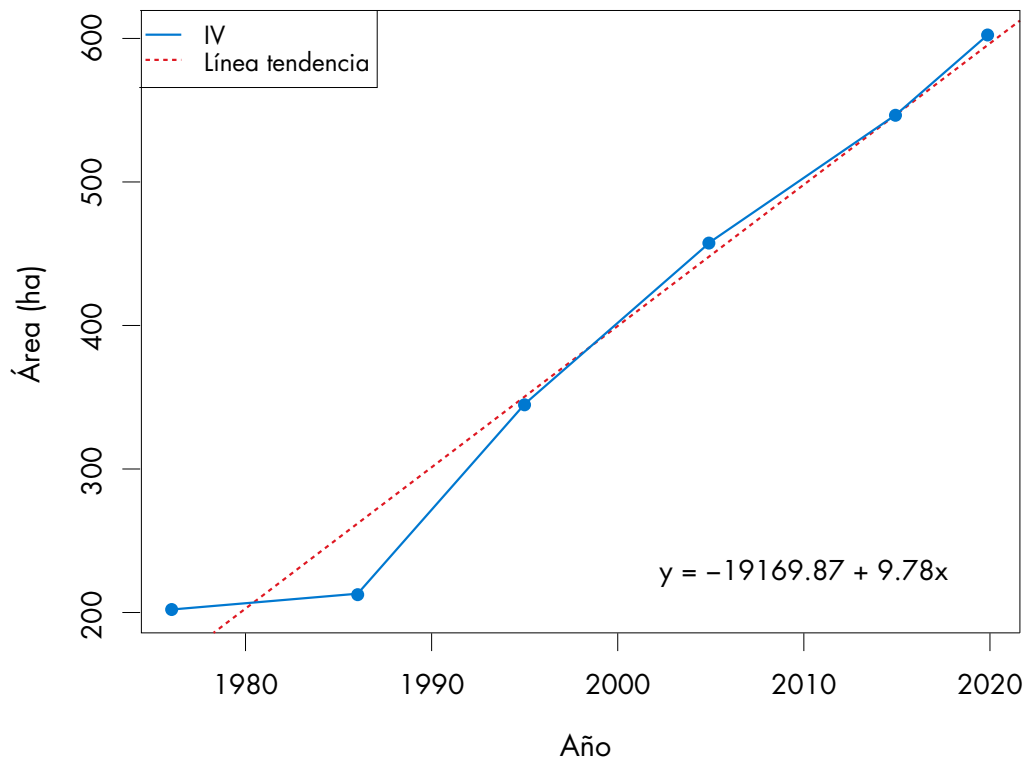


Figura 8a. Línea de tendencia de cobertura vegetal.

Fuente: Elaboración propia.

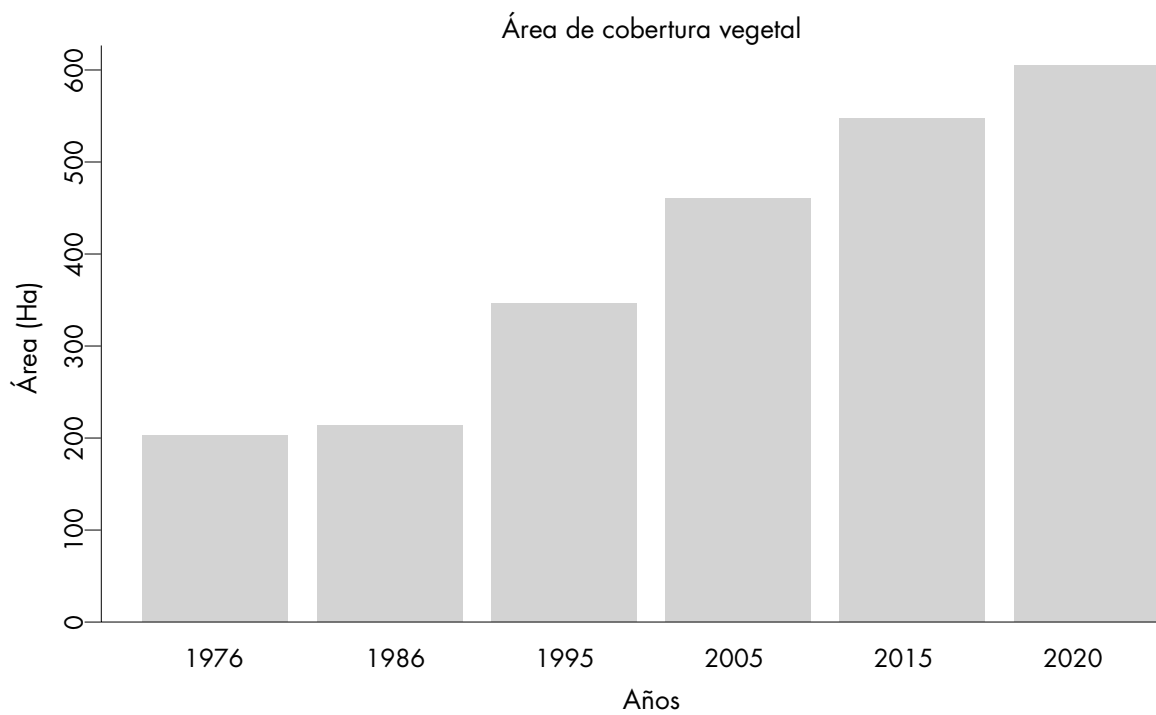


Figura 8b. Barra del área de cobertura vegetal.

Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

La metodología empleada, basada en el análisis de la tendencia temporal del índice NDVI derivados de los datos imagen LandSat y MODIS para el área correspondiente al Humedal El Paraíso nos permitió observar patrones generales de tendencias positivas de la vegetación en la actividad, lo cual sugiere que se mantuvo la salud vegetal del área para el intervalo de tiempo analizado (1985-2020). El incremento de valor de la media espacial de NDVI podría estar asociado a la ganancia de terreno o incremento del área de la cobertura vegetal del humedal tal como se mostró en la gráfica de tendencia y de barras (Figura 8a).

Respecto al análisis de cambios de la serie de tiempo del NDVI con datos LandSat se observó un incremento de valores en el intervalo de años 1985-95, que correspondería a un incremento del área de cobertura vegetal de valores altos de NDVI

(Figuras 6b y 6c), para luego descender hasta aproximadamente el año 2013, lo cual se debería a una disminución de la salud o verdor vegetal, tal como se captó en el índice de vegetación. Posteriormente, a partir de ese año se aprecia una línea de tendencia positiva de pendiente alta hasta el presente año (2020). Estos cambios en la serie de tiempo podrían estar asociados a la alteración del régimen hídrico del humedal debido al ingreso de las aguas de la irrigación Santa Rosa, sin embargo, se necesitarían mayores estudios para terminar de confirmar estos cambios.

La información generada es el resultado de un método de análisis rápido y práctico que puede ser la base para el monitoreo constante de la cobertura vegetal y salud del ecosistema que conforma el humedal El Paraíso, convirtiéndose en un insumo para la gestión integrada de los humedales costeros de la región Lima.

Referencias

- Chen, X., Vierling, L., Deering D. y Conley A. (2005). Monitoring boreal forest leaf area index across a Siberian burn chronosequence: a MODIS validation study. *International Journal of Remote Sensing*. 26, 24, pp.5435 – 5436.
- García, M., Gómez, L., Amarós, J., Muños, J., Camps, G. (2018). Multitemporal cloud masking in the Google Earth Engine. *Remote Sens*. 10, 1079. doi: 10.3390/rs10071079
- Gardner, R.C., Barchiesi, S., Beltrame, C., Finlayson, C.M., Galewski, T., Harrison, I., Paganini, M., Perennou, C., Pritchard, D.E., Rosenqvist, A., and Walpole, M. (2015). State of the World's Wetlands and their Services to People: A compilation of recent analyses. Ramsar Briefing Note no. 7. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat. Recuperado de: <https://www.ramsar.org/es/documento/nota-informativa-7-estado-de-los-humedales-del-mundo-y-de-los-servicios-que-prestan-a-las>
- Ghosh, S., Mishra, D.R., Gitelson, A. A. (2016). Long-term monitoring of biophysical characteristics of tidal wetlands in the northern Gulf of Mexico - a methodological approach using MODIS. *Remote Sens. Environ.* 173, 39–58. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.015>.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R. (2017). Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- Leadley, P. W., Krug, C. B., Alkemade, R., Pereira, H. M., Sumaila U. R., Walpole, M., Marques, A., Newbold, T., Teh, L. S. L, van Kolck, J., Bellard, C., Januchowski-Hartley, S. R., & Mumby, P. J. (2014). Progress towards the Aichi Biodiversity Targets: An assessment of biodiversity trends, policy scenarios and key actions [CBD Technical Series No. 78]. Montreal, Canada: Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Recuperado de: <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-78-en.pdf>
- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2014). Estudio para la identificación de las áreas degradadas y propuesta de monitoreo. Dirección de Ordenamiento Territorial Ambiental.
- Ríos, G. (2008). Series de tiempo. Universidad de Chile, Departamento de ciencias de la computación.
- Sobriño, J. (2000). Teledetección. Guada Impresiones, España, Guada impresiones S.L, 467 páginas.
- United States Geological Survey – USGS. (2020a). Landsat Surface Reflectance Quality Assessment. Recuperado de: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-surface-reflectance-quality-assessment?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- United States Geological Survey – USGS. (2020b). MOD13Q1 v006 - MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250 m SIN Grid - Description. Recuperado de: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006/>
- Wang, X., Xiao, X., Zou, Z., Chen, B., Ma, J., Dong, J., Doughty, R.B., Zhong, Q., Qin, Y., Dai, S., Li, X., Zhao, B., Li, B., Qiaoyan, Z., Qin, Y., Dai, S., Li, X., Zhao, B., Li, B. (2018). Tracking annual changes of coastal tidal flats in China during 1986–2016 through analyses of Landsat images with Google Earth Engine. *Remote Sens. Environ.*, 110987. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.030>.
- Yengoh, G.T., Dent, D., Olsson, L., Tengberg, A.E., Tucker III, C.J. (2015). Use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Assess Land Degradation at Multiple Scales. Current Status, Future Trends, and Practical Considerations. London: Springer.



Origen geológico del humedal El Paraíso y análisis temporal mediante teledetección para el periodo 1986-2020

B. Baez³⁷, R. Príncipe³⁸ y J. C. Gómez³⁹

RESUMEN

El Paraíso es un humedal costero que presenta playa, vegetación, zonas pantanosas, y dos cuerpos de agua: lagunas norte y sur; cuyo régimen hídrico actual se encuentra influenciado principalmente por las mareas y el agua proveniente de las desviaciones y filtraciones de la irrigación Santa Rosa. Desde su origen, en la zona de estudio hubo distintos períodos en los que existieron cuerpos de agua o hubo sequías, es así que el actual humedal se hizo visible desde principios de 1973, como consecuencia de la inundación producida por la irrigación; por ello, se cree que solo es de origen artificial reciente, no obstante, para que los cuerpos de agua se hayan retenido en el lugar, existen condiciones naturales (como la geomorfología y los tipos de depósitos) con los cuales el área que ocupa el humedal guarda estrecha relación; por esta razón, en esta investigación se realizan dos tipos de análisis con distintas perspectivas de temporalidad, con la geología se analizan largos períodos de tiempo para explicar el origen/formación de su entorno físico; y el análisis multitemporal mediante teledetección se requiere para comprender cómo se ha comportado la extensión del humedal en los últimos años y cuál es su estado actual.

Se concluye que, el entorno físico del humedal, visto de forma regional, se remonta desde el Mioceno-Plioceno, donde la evolución morfotectónica y el estudio de la geología local, indican que, debido a la tectónica de fallas/bloques, el acortamiento migrante de la corteza continental y el hundimiento del litoral central se produjo una zona deprimida que en el Pleistoceno fue rellenada con depósitos aluviales y fluviales, posterior a ello, ocurre el levantamiento tectónico de las terrazas y la erosión marina, desarrollándose una bahía; y es en el Holoceno, con el aporte de sedimentos marinos y fluviales, en el que se produce un cordón litoral, cerrando a la bahía y creando una laguna costera, es decir, la albufera El Paraíso, siendo este su origen natural de formación. Las observaciones de campo muestran que la parte norte del humedal tuvo un origen natural con probables períodos de aumento o descenso de agua producto de aportes marinos y fluviales, mientras que la parte sur estaría asociada a la irrigación, que en la actualidad es la responsable del mantenimiento e incremento de la superficie del humedal, tal como muestra el resultado del análisis de cambios del área mediante el índice NDWI para el período 1986 – 2020,

³⁷ Instituto Geofísico del Perú – bbaez@igp.gob.pe

³⁸ eprincipe17@gmail.com

³⁹ Instituto Geofísico del Perú – jgomez@igp.gob.pe

donde se apreció un incremento de área en 48.33 hectáreas.

Palabras Clave: Humedal, Geología, Geomorfología, Origen, Multitemporal.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la costa peruana existen aproximadamente un centenar de humedales costeros, de los cuales algunos son del tipo lacustre, por ejemplo, la albúfera de Medio Mundo, los Pantanos de Villa, Puerto Viejo, Végueta, Laguna Grande, etcétera, entre los que se encuentra El Paraíso, cuyas actuales lagunas no fueron conocidas sino hasta después de la inundación producida como consecuencia de la Irrigación Santa Rosa, aproximadamente a inicios del año 1973, por esta razón, muchos asumen que es un humedal de origen artificial, sin embargo, los hallazgos de restos arqueológicos hechos con junco y grama en Bandurria, con el que colinda en su extremo noreste, dieron indicios del origen natural del entorno físico, que indican que existió una laguna en el período de esta antigua civilización, que según Chu (2006) vivió aproximadamente hace 3800 años.

La mayor parte de las investigaciones que se han realizado dentro del área de estudio están relacionadas a temas de arqueología, avifauna, medioambiente, entre otros; donde los estudios de geología son escasos, asumiendo que los factores hidrológicos son la fuente principal de formación de un humedal, pero son los factores geológicos, es decir, la geomorfología de la zona y los tipos de depósitos

encontrados, los que permiten explicar a qué se debe su existencia en el lugar que se encuentra y cuál es su historia natural; motivo por el cual se destaca la importancia de la geología en este estudio, ya que ella nos otorga una perspectiva de largos períodos de tiempo; por otro lado, también existe la necesidad de entenderlo a escalas temporales de períodos multianuales, que nos permiten conocer el estado actual del humedal y los cambios en su extensión a partir de la influencia de la irrigación Santa Rosa.

Los objetivos de esta investigación son: (1) Explicar el origen del entorno físico del humedal para entender la formación natural del mismo, a través de la interpretación de imágenes satelitales y el reconocimiento de campo, con el que se realiza la caracterización geológica-geomorfológica, destacando evidencias de su origen natural, con apoyo de información bibliográfica de la evolución morfotectónica de la zona de estudio y de la historia geológica de otras lagunas costeras en el mundo, análogas al Paraíso. (2) Determinar la variación de su extensión en los últimos 35 años, para entender su desarrollo en este último período, el cual se realiza mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales, que consiste en la calibración a nivel de reflectancia y el cálculo del índice NDWI.

2. DATOS UTILIZADOS

Los datos empleados para el presente estudio incluyen las imágenes de satélite LandSat 5 y 8 de fechas 1986/04/10, 1995/04/19, 2005/04/14, 2015/03/25 y 2020/04/22 y los datos de imagen satelital del aplicativo GoogleEarth (satélite de la empresa MAXAR⁴⁰) mediante el aplicativo SASPlanet en formato imagen (jpg), georeferenciado, considerando el sistema de coordenadas UTM y datum WGS 84, Zona 18-S con fecha de toma de datos en terreno correspondiente al año 2020.

Las imágenes satelitales LandSat fueron obtenidas gratuitamente desde la página web de la United

States Geological Survey (USGS)⁴¹. Estas imágenes fueron descargadas en un nivel de procesamiento que incluye la magnitud reflectancia al tope de la atmósfera denominado “reflectancia TOA” y la ortorectificación. Para la extracción de índices físicos como el que se empleó en esta investigación, fue necesario procesar la imagen a valores de reflectancia de superficie mediante la técnica de extracción de píxeles oscuros (Chávez, 1996). Esta corrección proporciona valores de reflectancia de superficie que son empleados como datos de entrada para el cálculo del índice de agua y el algoritmo de clasificación.

3. MÉTODOS UTILIZADOS

El procesamiento de datos consistió en dos etapas. Primero, se generaron mapas locales con características geológicas y geomorfológicas, en base a imágenes satelitales, mapas regionales y distritales de estudios anteriores, considerando también: datos topográficos, drenajes, litología y uso de suelos. Asimismo, se realizó la observación y reconocimiento directo de campo, descripción de zonas de interés, toma de datos con GPS, fotografías, etc. La segunda etapa corresponde al procesamiento de imágenes satelitales, que consistió en la calibración a nivel de reflectancia, luego se procedió con el cálculo del índice NDWI, el cual es empleado para determinar la extensión del humedal. Finalmente, para la visualización de los cambios fue necesario utilizar la detección de cambios bi-temporales que es detallada en las siguientes secciones.

a. Generación de mapas y reconocimiento de zonas de interés

Para la realización del mapa geológico de la zona de estudio se ha tomado como base la geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta, Boletín N° 26, año 1973, del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú-INGEMMET. Las unidades geomorfológicas y litoestratigráficas fueron delimitadas y digitalizadas en software GIS, identificadas a través del análisis de imágenes satelitales, observación, reconocimiento y toma de datos de campo.

b. Cálculo del Índice de agua – NDWI

Los índices físicos son transformaciones matemáticas de las bandas espectrales sometidas a correcciones radiométricas y atmosféricas para un mejor resultado en

⁴⁰ <https://www.maxar.com/our-company/maxar-missions>

⁴¹ http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/download_raster.aspx

comparación a los originales captadas por el sensor remoto (Chen et al., 2005). El NDWI mostrado en la ecuación (1), se utiliza para detectar y monitorear la condición de humedad de los doseles de vegetación de grandes áreas (Xiao et al., 2002). Debido a que este índice tiene una fuerte influencia tanto por la marchitez y el secado en el dosel vegetal, podría ser un indicador más sensible que el NDVI (Gu et al., 2007).

$$NDWI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR}} \quad (1)$$

A partir de la ecuación (1), ρ_{NIR} y ρ_{SWIR} son los valores de reflectancia en 857nm y 2130nm respectivamente, que corresponde a las bandas 4 y 5 para el sensor TM y bandas 5 y 6 para el sensor OLI. Los valores de NDWI varían entre -1 y 1, donde los valores positivos corresponden a superficies con contenido de agua y cero y negativo para suelos con contenido de agua.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

a) Antecedentes morfoestructurales

La evolución morfotectónica de la franja costera central del país, es consecuencia del proceso de subducción de bajo ángulo de la placa oceánica de Nazca, que se sumerge por debajo de la placa continental Sudamericana; este proceso fue iniciado en el límite Mioceno-Plioceno, hace unos 5 a 10 millones de años, lo que dio lugar a importantes eventos morfotectónicos, entre los cuales, los que afectan a la zona de estudio son: el acortamiento migrante de la corteza continental que se comprime hacia el Este, el fallamiento en bloques de la Cordillera de la Costa y su hundimiento en el litoral central, y el levantamiento tectónico de las terrazas y tablazos marinos costeros (Walsh, 2009).

Menciona Walsh Peru (2009), que, en la región litoral central del Perú, los rasgos estructurales guardan estrecha relación con las rocas expuestas, en tal sentido, las rocas volcano-sedimentarias se hallan moderadamente plegadas y falladas. Además, como consecuencia de las etapas de desglaciación pleistocénica se conformaron acumulaciones aluviales o fluviales de deltas de los ríos que bajaban del macizo andino occidental, constituidas por un potente conglomerado de gravas polimícticas semi-consolidadas, de tamaño

variado y matriz limo-arenosa o limo-arcillosa. Los depósitos son persistentes, particularmente en Barranca y Huacho donde conforman terrazas altas y medias, sin embargo, en numerosos sectores se encuentran cubiertos por mantos de arenas eólicas. Describe Vela (2009) que, en la fase tectónica del pleistoceno, el período cuaternario se caracteriza por el levantamiento del litoral peruano (tablazos marinos). De esta manera, el resultado de la tectónica de fallas se relaciona con transgresiones y regresiones marinas y la depositación de sedimentos de este origen.

b) Geología

En la Figura 1, las rocas más antiguas corresponden a la Formación Casma (Ki-c), pertenecientes al Mioceno-Plioceno, constituidas por secuencias volcanoclásticas y sedimentarias del Cretáceo Inferior, principalmente andesitas basálticas con texturas porfíricas en matriz afanítica (Cobbing, 1973). Al sur del humedal se pueden apreciar rocas intrusivas del tipo diorita (KTi-di). Este conjunto de rocas se expuso a la tectónica de fallas y bloques, al acortamiento migrante de la corteza continental y al hundimiento del litoral central, conformando de esta manera una zona deprimida, que posteriormente fue rellenada con depósitos cuaternarios. Actualmente,

se encuentran en los alrededores del humedal, conformando lomadas y colinas bajas, cubiertas por material eólico.

Los depósitos aluviales (Qh-al) están conformados por materiales que han sido transportados y depositados por acción del flujo de agua en las llanuras aluviales; se presentan como intercalaciones de limos y gravas, cubriendo llanuras y colinas al este del humedal, sobre estos depósitos semiconsolidados se han desarrollado diversas actividades agrícolas. Los depósitos fluviales (Qh-fl) se ubican en la parte noreste de la zona de estudio, estos han sido transportados y depositados por antiguos efluentes del río Huaura, contienen gravas subredondeadas y material clasto-soportado con presencia de matriz areno-limosa. Se encuentra un afloramiento de estos depósitos, colindante al este de la laguna

norte, cubierto en gran parte por depósitos eólicos, sobre el que se asienta el centro arqueológico de Bandurria. Ambos depósitos, aluviales y fluviales conforman las terrazas marinas que limitan al este del humedal.

Los depósitos marinos (Qh-m), se encuentran presentes a lo largo del litoral, estos consisten en materiales no consolidados conformados por arenas de grano medio a fino; el humedal El Paraíso se encuentra asentado en estos depósitos. Los depósitos eólicos (Qh-e) se encuentran presentes a lo largo de la faja litoral y al este del área de estudio cubriendo las llanuras y lomadas, adoptan formas características como dunas, óndulas, crestas, etcétera; están constituidos por arenas de grano fino y limos que han sido transportados y depositados por la acción del viento.

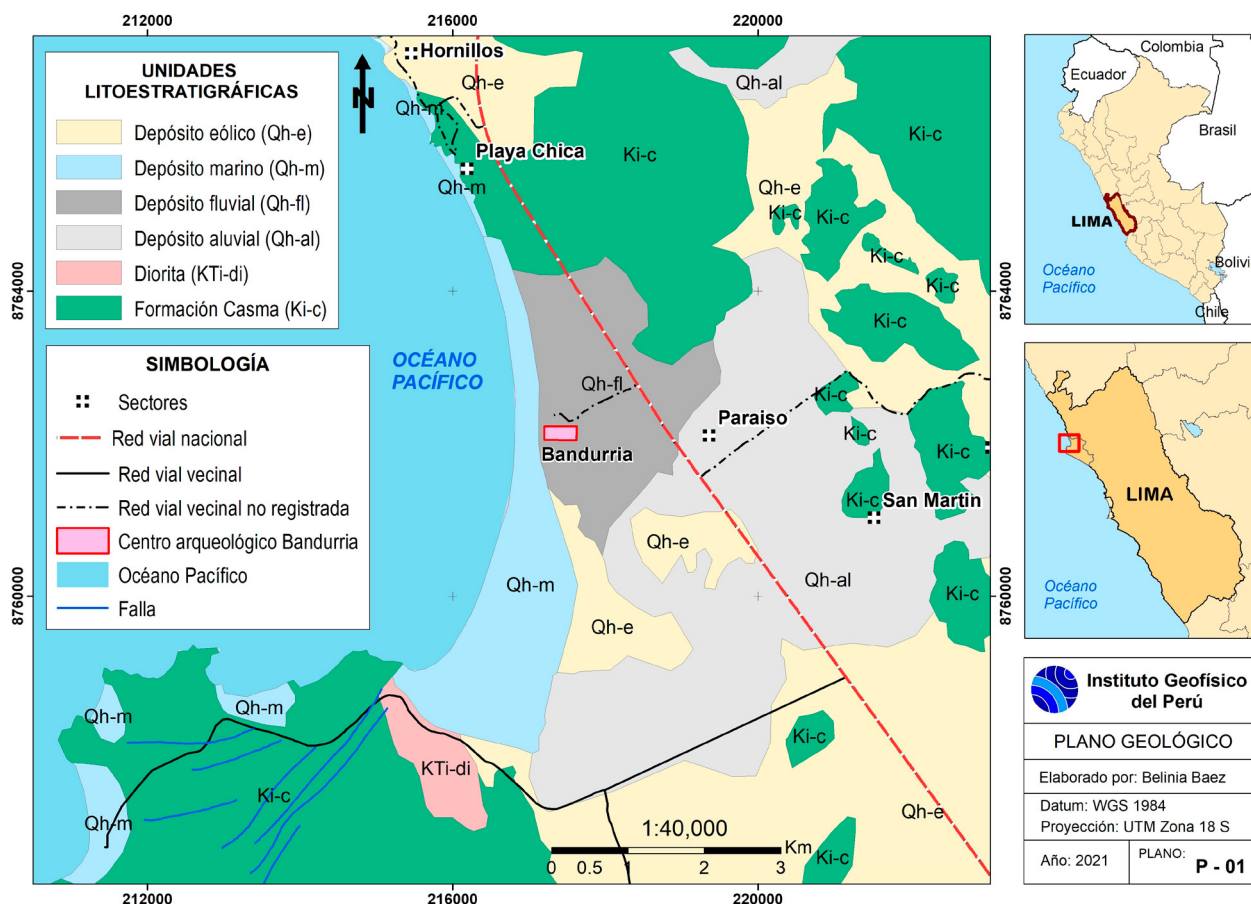


Figura 1. Mapa de geología de la zona de estudio. Escala: 1:40 000.

Fuente: INGEMMET, 1997 (versión digital), modificado por IGP. Elaboración propia.

c) Geomorfología

Las unidades geomorfológicas permiten explicar la dinámica de formación y características físicas que conforman un relieve; las geoformas son generadas por procesos geodinámicos de tipo endógeno (internos) y exógenos (externos) que dan lugar a relieves positivos y negativos (Instituto Geofísico del Perú [IGP], 2014). El humedal está conformado por lagunas y zona pantanosa, y en su entorno se observan otras unidades geomorfológicas: lomadas, mantos de arena, terrazas marinas, llanura aluvial, playa y cordón litoral.

En la Figura 2 se observan: las lomadas, al sur del humedal, están conformadas por rocas

sedimentarias e intrusivas, alturas menores a los 300 m y pendientes menores a 35°; al este se encuentra la llanura aluvial de origen depositacional, que forma una planicie en la que se desarrolla toda la actividad agrícola. La llanura continúa en casi toda la zona de estudio, pero se encuentra cubierta por los mantos de arena, en acumulaciones constituidas por sedimentos medianos y finos acarreados por el viento, estos se encuentran en grandes extensiones, cubriendo la mayor parte de la planicie y conforman también algunas dunas. Las terrazas marinas han sido expuestas como resultado de los cambios tectónicos de alzamiento y subsidencia; en la zona de estudio se desarrollan al límite este del humedal,

que se encuentra alrededor de los 20 m s. n. m., relativo a las terrazas se observan los acantilados inactivos, denominados así por encontrarse distantes de la acción erosiva del mar. Luego de producidas las terrazas, se desarrolló otro nivel de mar en el que actualmente contiene a las lagunas, la zona pantanosa y la playa, es un área sujeta

a inundaciones, erosión marina, arenamientos y migración de arenas tierra adentro. Sobre la playa se encuentra el cordón litoral, como una barra alargada de composición arenosa formada principalmente por sedimentos de origen marino, que se prolonga en la línea de costa y al cierre de la bahía.

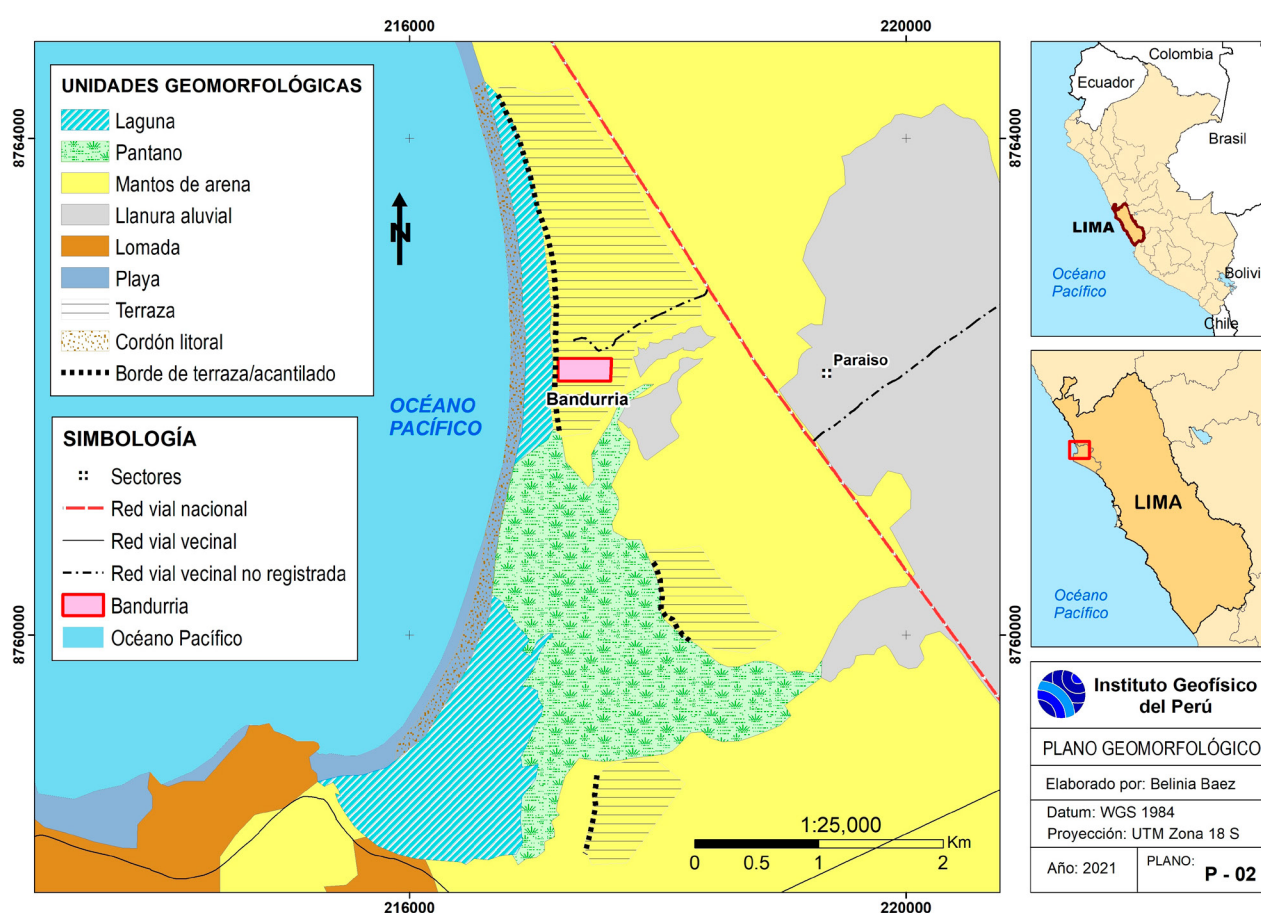


Figura 2. Mapa de geomorfología local. Escala: 1:25 000.

Fuente: Elaboración propia.

d) Evidencias del origen natural de formación, reconocimiento de campo

Chu (2006) describe que los antiguos pobladores del centro arqueológico Bandurria usaron el junco y la grama para la creación de canastas y muros; de los cuales se tiene fechado radiocarbónico entre 3870 y 3700 años antes del presente, esto indicaría que hubo una albufera en ese período y probablemente mucho antes, por lo menos se puede precisar la existencia de la laguna norte. Por lo tanto, el humedal tiene una historia natural que se explica mediante la geología. Debido a esto, en trabajos de campo, mediante observación y reconocimiento, se encontraron algunas evidencias que indican el origen natural del entorno físico y nos ayudan a entender su formación: afloramiento de depósitos fluviales, paleocanal, terrazas, acantilados inactivos y cordón litoral (Figura 3).

Al este y colindante a la laguna norte, se ha encontrado un afloramiento de depósitos fluviales, los cuales demuestran que un río existió en otros períodos anteriores y tuvo su curso en esa zona, aportando recursos hídricos y conformando sedimentos. Estos depósitos presentan una potencia aproximada es de 10 m, conformado por cantos rodados de andesitas, dioritas, areniscas subredondeadas, englobados en matriz arenosa de grano medio, con tamaños predominantes de 3 a 6 cm y ocasionales de 30 cm (Figura 4a). Sobre este depósito se ha asentado el centro arqueológico de Bandurria, que fue cubierto de material eólico.

Además, es de destacar que los cantos rodados de este afloramiento fueron usados como material de construcción de las pirámides y plazas circulares de esta civilización que existió aproximadamente hace 4000 años.

Al sureste de la laguna norte se han encontrado sedimentos que muestran una estructura con estratificación cruzada, de material semiconsolidado; son canales antiguos, de diferente granulometría (intercalaciones de arenas de grano medio y grueso), evidencia que esta zona ha sido la parte central del paleocanal del curso de agua, que, en la antigüedad, sirvió de aporte a esta laguna. (Figura 4b).

El Paraíso posee un largo cordón de arena que cierra las lagunas, este se encuentra paralelo a la línea de playa, cuya formación inicial se dio por aporte de sedimentos marinos y fluviales. Actualmente este cordón se sigue desarrollando, engrosando la parte media, por la acumulación proveniente de los sedimentos marinos-eólicos y la estabilidad que le otorga la vegetación, en este caso, las gramas. (Figura 4c). En la Figura 2 y Figura 3 se muestran los trazos de algunas de las terrazas marinas con sus respectivos acantilados inactivos (situados fuera del oleaje), los cuales nos indican el proceso de levantamiento al que se expuso la zona costera. El sitio arqueológico de Bandurria se ubica al este de la laguna norte, sobre la terraza compuesta por depósitos fluviales y cubierta por eólicos (Figura 4d).

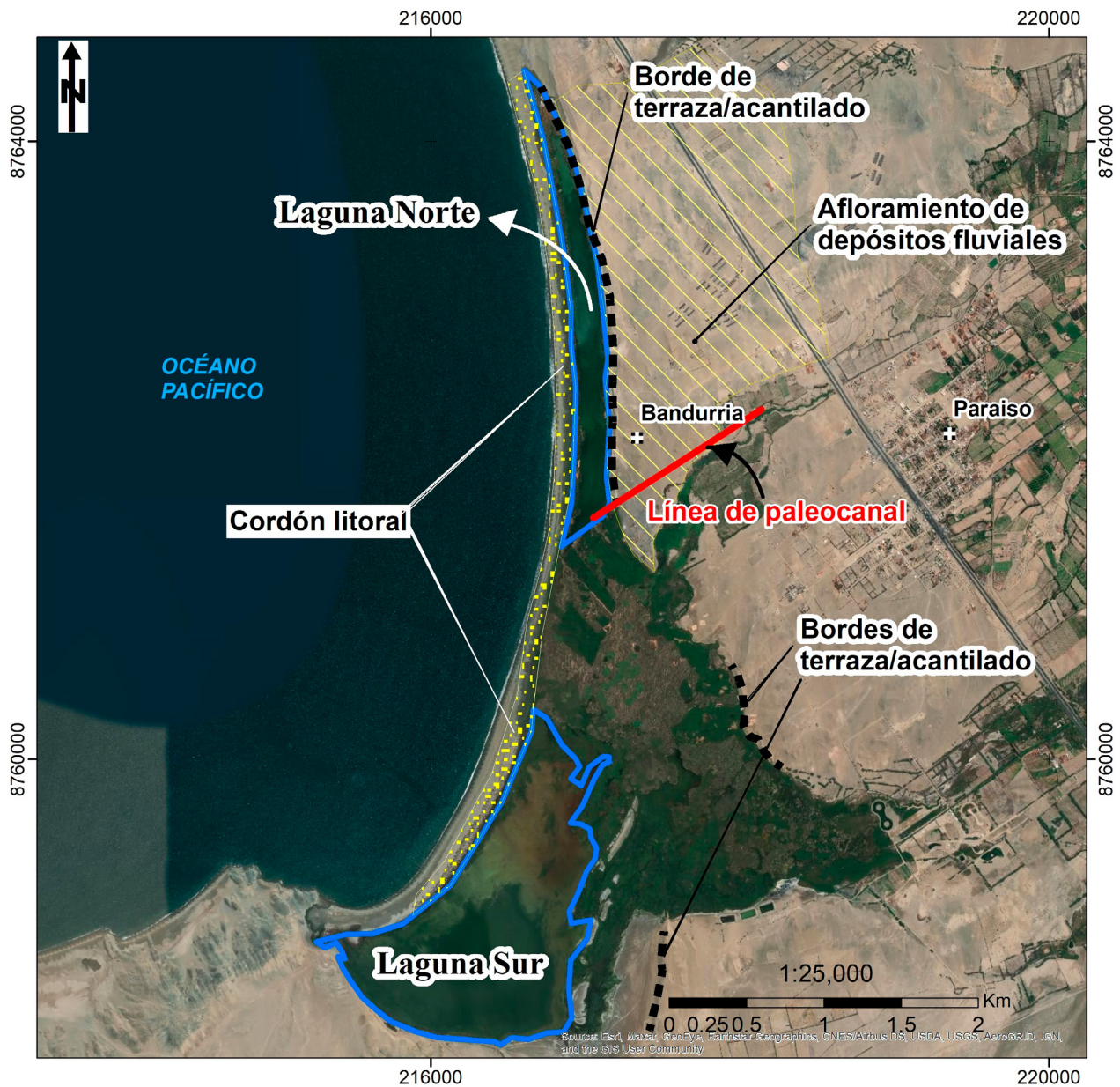


Figura 3. . Ubicación de zonas que evidencian el origen natural del entorno físico.

Fuente: Elaboración propia.

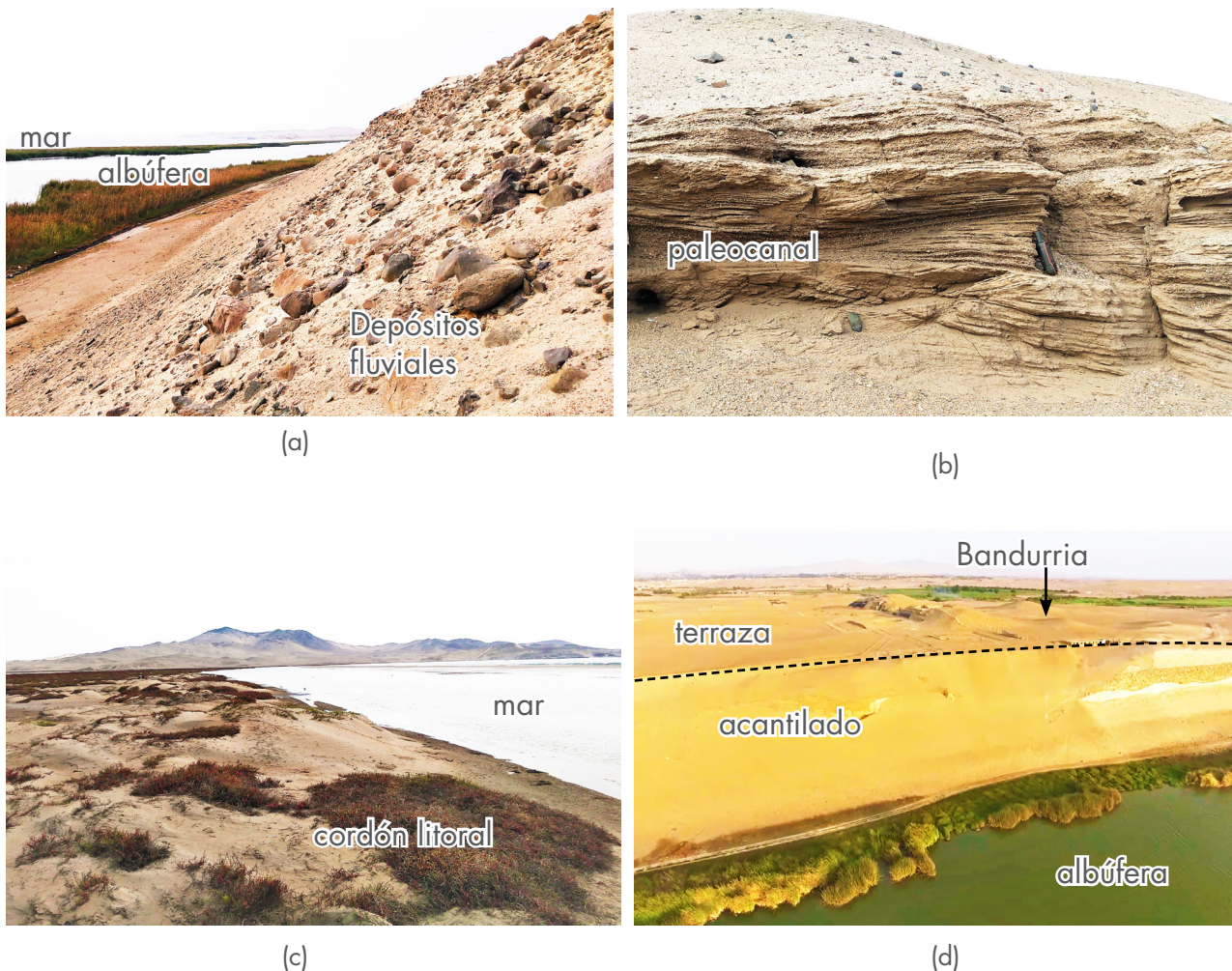


Figura 4. a) Afloramiento de depósitos fluviales. b) Paleocanal con estratificación cruzada. c) Parte del cordón litoral, conformado por la acumulación de arena y grama. d) Terraza y acantilado inactivo.

e) Denominación de humedal tipo albufera

Existen algunas dudas sobre qué tipo de humedal es El Paraíso, y si debe reconocerse como “albufera”, para esclarecer ello, hay que remitirse a la definición del término, el cual guarda relación con su origen geológico. En el Diccionario Geológico, preparado por Dávila (2011), se define a la albufera como “un término usado para referirse a las zonas de depresión costera y que constantemente son invadidas por el agua de mar” (p. 33). Según la definición de la RAE, es “una laguna litoral, en

costa baja, de agua salina o ligeramente salobre, separada del mar por un cordón de arena”. Por otro lado, las características más comunes de una albufera son: las formas estrechas, alargadas y paralelas a la orilla; la escasa profundidad; las mareas calmadas, lo que hace que el proceso de intercambio de aguas con el mar sea lento, y debido a este flujo sus temperaturas suelen ser más cálidas que las aguas marinas; además, por lo general una albufera desarrolla un tipo de vegetación especial; y es posible que existan sales acumuladas de utilidad

industrial; además, se encuentra separada del mar por un cordón de arena, pero en comunicación con el mar por uno o más puntos, cuya formación se debe a la colmatación de aportes de sedimentos marinos o fluviales que con el tiempo cierran una antigua bahía.

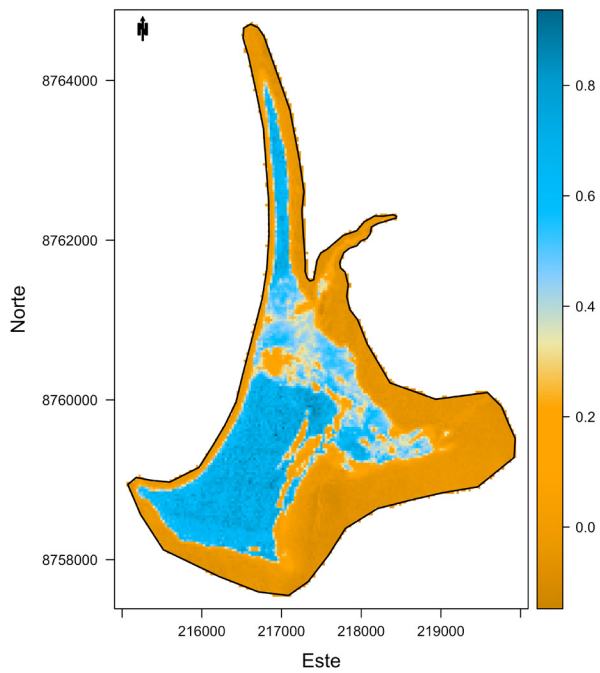
Para desarrollar las hipótesis sobre la historia natural de la albufera El Paraíso, se recurrió a bibliografía en la que se explique el origen, formación y evolución geológica de otras zonas análogas, por ejemplo, la albufera de Valencia, la cual cuenta con estudios de dataciones radioisotópicas de la barra litoral, predicción de la erosión hídrica y eólica, incluso con mapas geográficos históricos, que otorgan una explicación de su origen y evolución geomorfológica. "El cierre natural de la restinga se produjo con posterioridad hace 1 100 años" (Gracia, 1984). La albufera de Valencia se establece en una zona geológicamente deprimida, hundida desde el Mioceno y posteriormente rellenada por aluviones cuaternarios; la restinga o barra arenosa se produjo por la erosión de los relieves interiores cuyos sedimentos fueron transportados por los ríos Turia y Júcar, favorecido también por la existencia de una llanura aluvial de escasa pendiente; de esta manera la barra arenosa separó al antiguo golfo marino del mar, formándose así la albufera (Generalitat Valenciana, 2015).

El Paraíso se ubica en una bahía, en una zona geológicamente deprimida, separada por un cordón de arena con varios puntos de comunicación con el mar, se ha formado lagunas medianamente salobres, se ha desarrollado un ecosistema con

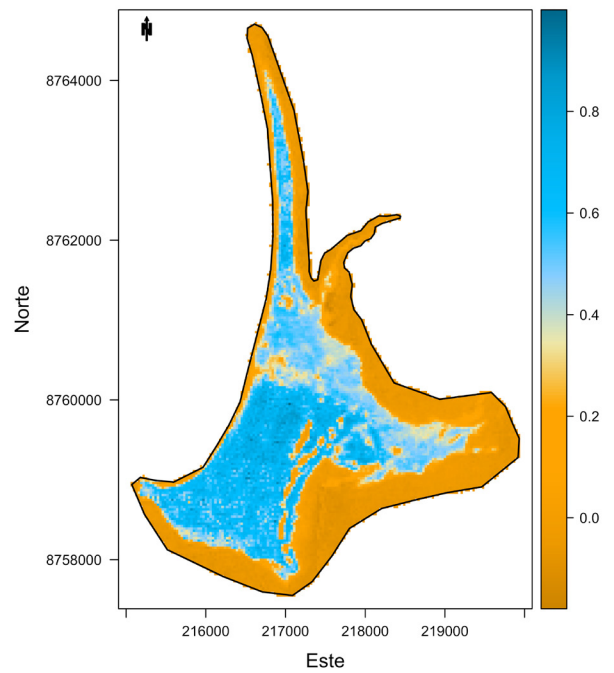
una amplia vegetación particular, posee una forma alargada, mayor temperatura que el mar, y poca profundidad (alrededor de 2 m al norte y 0.5 m al sur). Descripción similar a cualquier albufera y que cumple con la definición del término, por lo tanto, este es un humedal del tipo albufera.

f) Análisis de cambio de área para el período 1986 - 2020

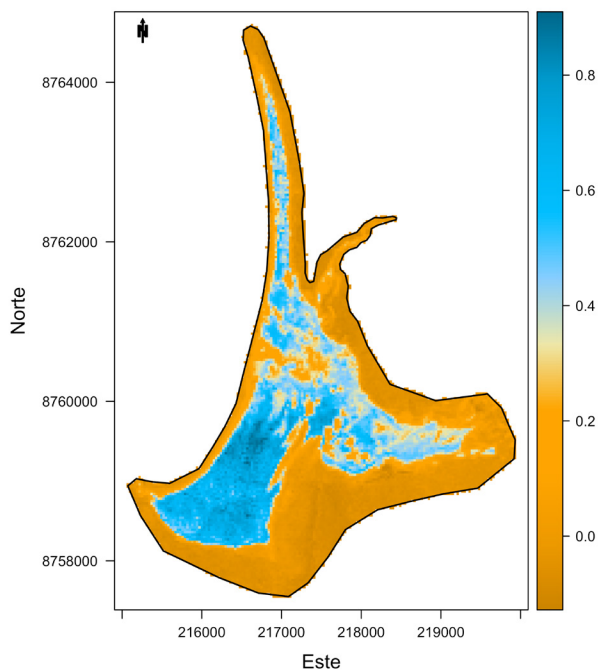
En esta sección se discuten los resultados de los análisis de cambios de la extensión de humedal mediante el DNWI, este índice tal como indica Tucker, (1979) nos permitió minimizar los efectos externos como las propiedades ópticas del suelo, proporcionando de esta manera las zonas con contenido humedad, que incluye la cobertura vegetal, cuerpo de agua y suelos desnudos húmedos. Tomando en cuenta que los valores positivos corresponden a zonas de suelo con contenido de agua, se emplea dichos valores para separar las zonas húmedas y secas. Seleccionado las zonas húmedas con valores por encima de 0.1 hasta el máximo valor de cada imagen. Para extraer el área se realiza el cálculo de la cantidad de píxeles que poseen valores superiores a 0.1, multiplicando dicho valor por el área que representa cada píxel que en este caso es de 30x30 m. A partir de la Figura 5, se puede visualizar que para el año 1995 los valores de NDWI mayores a 0.4 cubren mayor área para la zona de estudio en comparación a los demás años, esto sugiere que para el intervalo total de análisis (1986 - 2020) el área del humedal más extenso fue para el 1995.



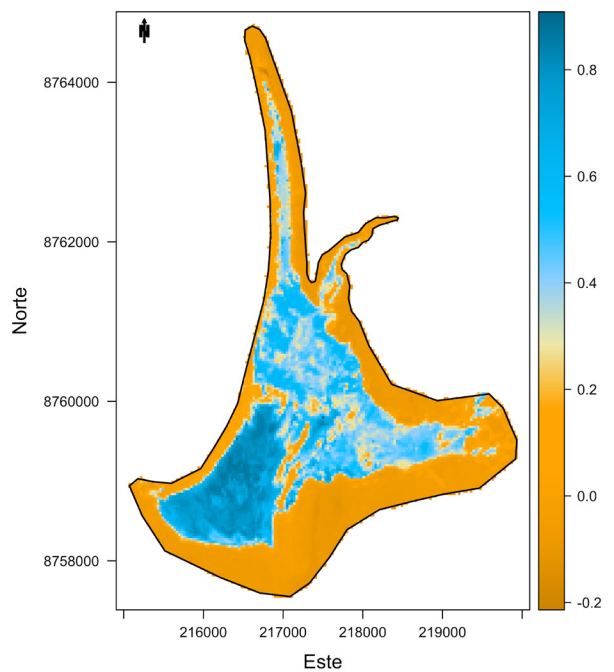
(a) 1986



(b) 1995



(c) 2005



(d) 2015

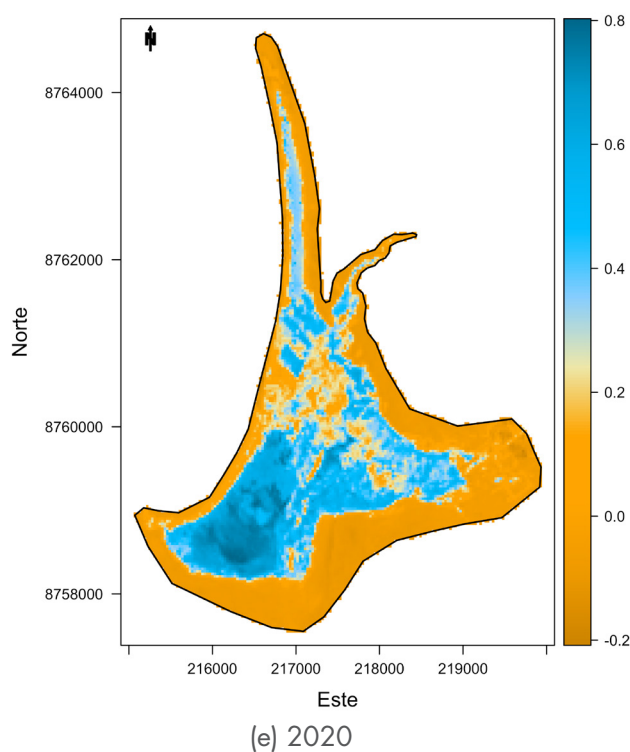
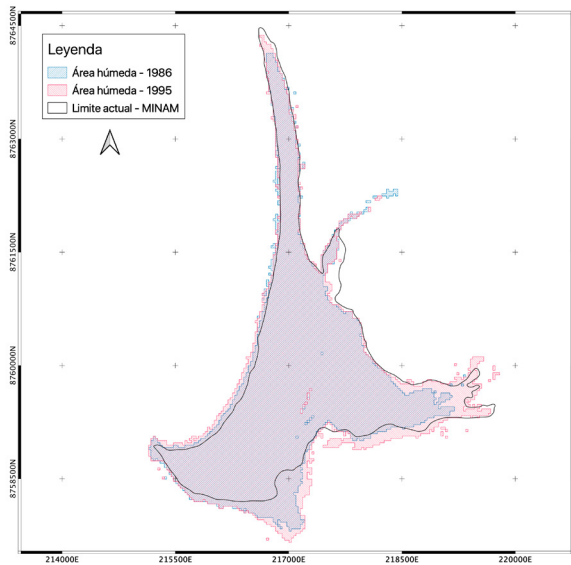


Figura 5. Imágenes de índice de agua de diferencia normalizada.

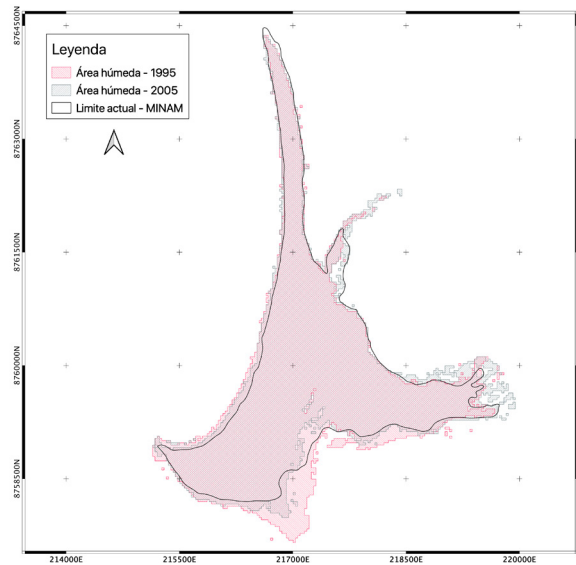
Fuente: Elaboración propia.

De 1986 a 1995 el mapa de cambios bi-temporal (Fig. 6a), muestra un incremento por la zona sur del humedal siendo esta de 85.14 hectáreas, mientras que el cambio en área entre 1995 y 2005 quedó disminuido en 35.01 hectáreas. Los cambios para los siguientes intervalos de tiempo 2005 – 2015 y 2015 - 2020 no fueron tan significativos como se aprecia en las Figuras 6c y

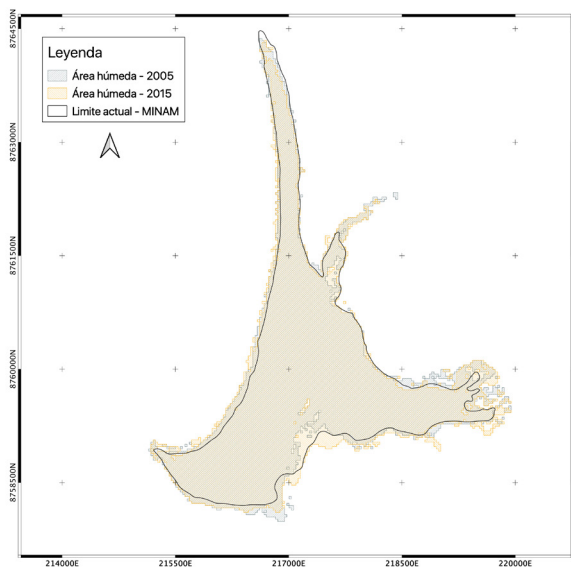
6d. Además, el diagrama de barras (Figura 7b) evidencia que los cambios para los dos últimos intervalos de tiempo (2005 – 2015 y 2015 - 2020) fueron menores en comparación a los dos primeros intervalos (1986 – 1995 y 1995 – 2005), siendo estas de 11.79 hectáreas para 2005 - 2015 y de 13.59 hectáreas para 2015 - 2020.



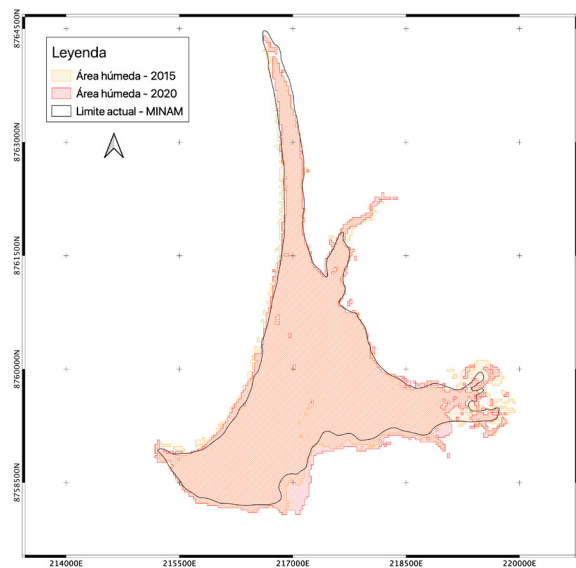
(a)



(b)



(c)



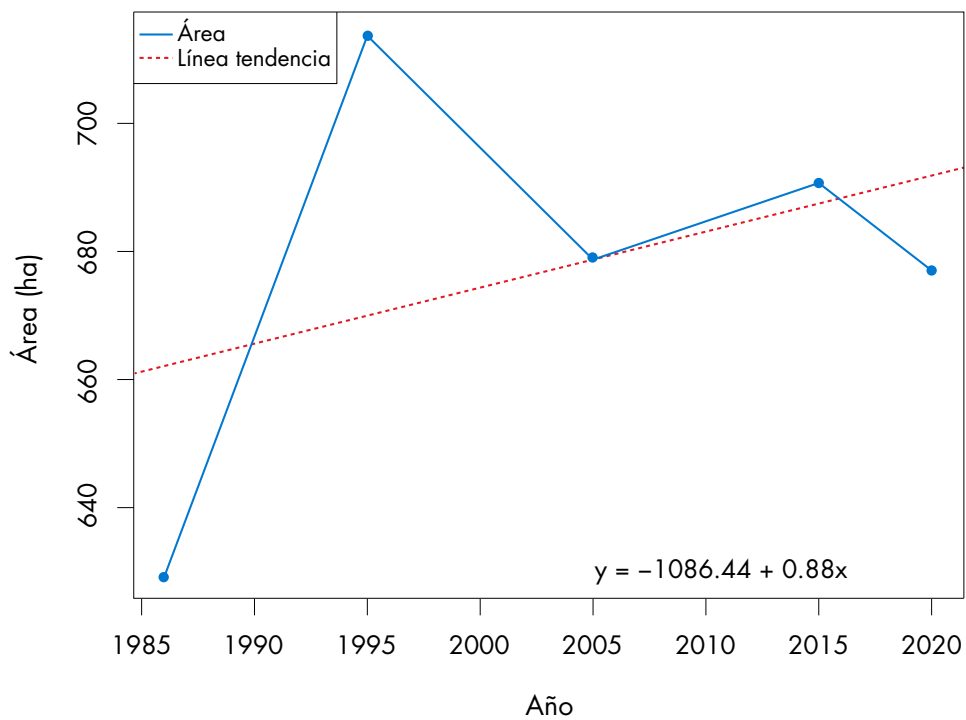
(d)

Figura 6. Imagen de cambio de áreas extraídos a partir del índice de agua - NDWI.

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis en el intervalo de tiempo total (1986 - 2020) se realizó la gráfica de tendencia (Figura 7a), donde se puede apreciar una tendencia lineal de pendiente suave de incremento desde 1986 hasta la actualidad. La gráfica de tendencia (Fig 7a) nos permite reafirmar que el cambio

más significativo corresponde al intervalo 1986 - 1995, mientras que a partir de 1995 el área decrece sin cambios significativos. Finalmente, para el intervalo total de análisis (1986 - 2020), el área de humedad de suelo se incrementó en 48.33 hectáreas.



(a)

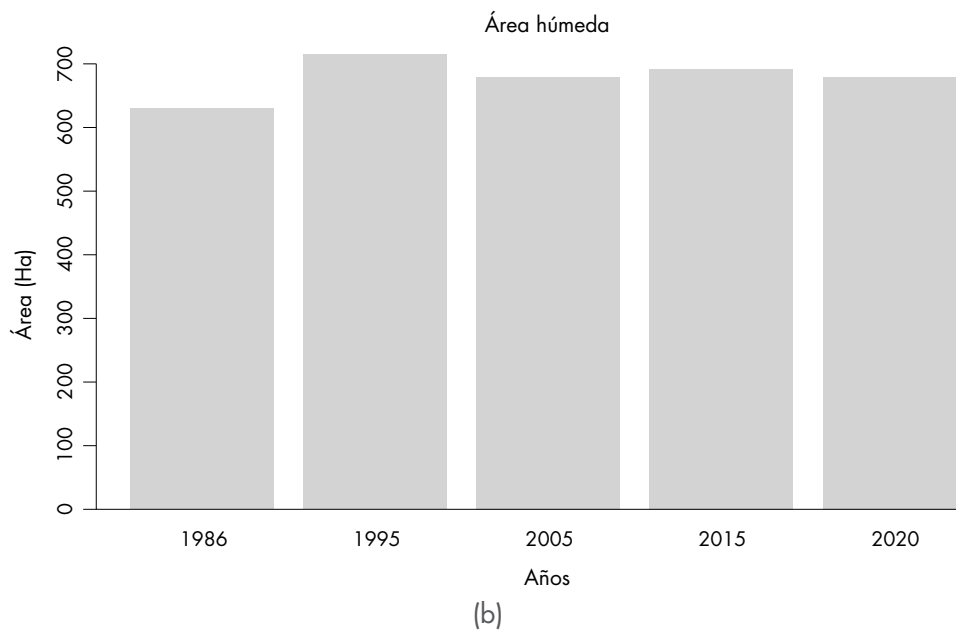


Figura 7. Gráfica de tendencia (a) y de barras (b) correspondiente a la zona húmeda del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

Se concluye que, el origen del entorno físico del humedal se remonta desde el Mioceno-Plioceno, donde los eventos tectónicos deformaron a las rocas del Grupo Casma, conformando una zona deprimida, posteriormente rellenada con depósitos de origen aluvial-fluvial provenientes de la desglaciación pleistocénica o de los ríos que bajaban desde la Cordillera Occidental, luego de ello ocurre el levantamiento tectónico de las terrazas y la erosión marina, desarrollándose una bahía.

El origen natural de formación de la albufera El Paraíso se dio en el Holoceno, cuando debido al aporte de sedimentos marinos y de origen fluvial, se formó un cordón litoral que cerró parte de la bahía para convertirla en una laguna costera. De acuerdo con la descripción de su origen, formación y características, El Paraíso cumple con la definición de un humedal del tipo albufera, por lo tanto, puede ser clasificado con la denominación "Albufera El Paraíso".

El análisis geológico/geomorfológico de la zona de estudio nos demuestra el origen natural de la

formación de una albufera, presentando evidencias que se pueden observar en campo, tales como los afloramientos de depósitos fluviales, paleocanales, terrazas marinas y acantilados inactivos. En la actualidad, el cordón litoral sigue desarrollándose por acumulación de arenas y grama; y de forma natural cuenta con varios puntos de conexión con el mar, los cuales permiten la recepción del agua salada. Desde 1973, el humedal recibe también, el agua proveniente de las desviaciones y filtraciones de la irrigación Santa Rosa, en mayor volumen que las aguas marinas, lo que hace posible el mantenimiento del ecosistema que se ha desarrollado estos últimos años; es así que, con el análisis multitemporal de las imágenes del índice NDWI que se analizó en el intervalo de tiempo 1986 – 2020, se apreció un incremento de área húmeda en 48.33 hectáreas, dentro de este intervalo de tiempo se observó incrementos y disminuciones de área, pero esa variación fue positiva en los últimos 35 años tal como se observó en el análisis de tendencias.

Referencias

- Chen, X., Vierling, L., Deering D. y Conley A. (2005). Monitoring boreal forest leaf area index across a Siberian burn chronosequence: a MODIS validation study. *International Journal of Remote Sensing*. 26 (24), pp.5435 – 5436.
- Chu, A. (2006). Arquitectura monumental precerámica de Bandurria, Huacho. *Boletín de arqueología PUCP*, 10(5), pp. 91-109. Recuperado de <<http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/boletindefarqueologia/article/download/1648/1591>>.
- Cobbing, J. (1973). Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta, *Boletín N° 26*, Lima, Perú: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú, pp. 17-18.
- Dávila, J. (2011) *Diccionario Geológico*. Arth Grouthing, Lima, Perú: INGEMMET, p. 33.
- Generalitat Valenciana (2015) Conociendo el Parque Natural de l'Albufera. Recuperado de <<http://www.parquesnaturales.gva.es/documents/80302883/82915572/CONOCIENDO+EL++P.N.ALBUFERA-CASTELLANO-A3.pdf/c37fe036-c0f7-44d2-82c5-c345c02f0fc4>>.
- Gracia, F. (1984). Albufera de Valencia. *Inventario Nacional de PIG (IGME)*, Instituto Geológico y Minero de España. Recuperado de <<http://info.igme.es/ielig/LIGInfo.aspx?codigo=LV001>>.
- GEF-ONUDI-HMARPE-IFOP (2002). Proyecto: Manejo integrado "Gran ecosistema marino de la Corriente de Humboldt". Recuperado de <<http://humboldt.iwlearn.org/es/informacion-y-publicacion/GEFMODULOIProductividadVol1.pdf>>
- Gu, Y., Brown, J., Verdin, J. and Wardlow, B. (2007). A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical research letters*. 34, L06407.
- Instituto Geofísico del Perú (2014). Zonificación sísmica – geotécnica de la ciudad de Huacho. Provincia de Huaura – Departamento de Lima (Comportamiento Dinámico del Suelo), Lima, Perú.
- Jackson, J., Chen, M., Cosh, F., Li, M., Anderson, F., Walthall, C., Doriaswamy, P. and Hunt, E. (2004). Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans, *Remote Sens. Environ.*, 92, 475–482.
- León, W., Palacios, O., Vargas, L., Sánchez, A. (2000) Memoria explicativa del mapa geológico del Perú. Escala 1:1000000, *Boletín N° 26*, Lima, Perú: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú, pp. 09-15.
- Milne, A. (1988). Change direction analysis using Landsat imagery: a review of methodology. *Proceedings of the IGARSS'88 Symposium Edinburgh, Scotland, ESA SP-284* (Noordwijk, Netherlands: ESA), pp.541–544.
- Tooth, S., Ellery, F., Grenfell, M., Thomas, A., Kotze, D., Ralph, T. (2019). 10 razones por las cuales la geomorfología de los humedales es importante. Parys, Sudafrica: Climate Change Consortium of Wales. Recuperado de <<https://geomorfologia.es/sites/default/files/10%20razones%20humedales%20FINAL.pdf>>
- Tucker, J. (1979). Red and Photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ*, 8:127–150.
- Vela, C. (2009) Subdivisión de la Placa de Nazca en tres nuevas placas tectónicas y su incidencia con la sismicidad peruana actual. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 12 (23), p. 79.
- Walsh Perú S.A. (2009). Estudio de Impacto Ambiental y Social. Prospección sísmica 2D y 3D - Lote Z-49. Recuperado de <<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/ARCHIVOS/estudios/EIAS%20-%20hidrocarburos/EIA/lot-z-49/4.1.2%20Geologia%20Z-49.pdf>>
- Xiao, X., Boles, S., Liu, J., Zhuang, D. and Liu, M. (2002). Characterization of forest types in northeastern China using multi-temporal SPOT-4 VEGETATION sensor data. *Remote Sens. Environ.*, 82, 335–348.



Vulnerabilidad socioeconómica y cultural en la gestión del humedal El Paraíso

D. Ruiz⁴² y A. Martínez⁴³

RESUMEN

El humedal El Paraíso es hábitat de una gran diversidad y presenta abundancia de flora y fauna, y en torno a él se desarrollan actividades económicas como la extracción de junco y totora que son sustento económico para las familias que viven en sus alrededores, y si bien el humedal está relativamente bien conservado, es vulnerable frente a fenómenos geofísicos y antropogénicos.

A través de encuestas y entrevistas, se buscó conocer en mayor profundidad las percepciones que vecinos, especialistas y autoridades tienen sobre el humedal, incluyendo su estado de conservación,

razones de su importancia y problemas para su efectiva gestión. Los resultados mostraron que existe un reconocimiento sobre la variedad de servicios ecosistémicos que la albufera posee, pero que no se condice sobre los motivos por los cuales se considera importante y por la cual debería ser conservada. Asimismo, se identificó a la falta de articulación entre los diferentes niveles de gobierno y entre sectores, como uno de los problemas estructurales que no permiten una efectiva gestión del humedal.

Palabras Clave: Vulnerabilidad, Servicios ecosistémicos, Turismo.

1. INTRODUCCIÓN

La albufera El Paraíso se ubica en la provincia de Huaura, distrito de Huacho, gobierno regional de Lima, y ha venido siendo protegida en su integridad física gracias a diferentes ordenanzas regionales: en el año 2005 la ordenanza regional N°006-2005-GR/RL, buscó promover la conservación de la diversidad biológica en la zona, e incluyó al humedal Lagunas de El Paraíso dentro del Corredor Biológico del

Pacífico. Con esta ordenanza se suspendieron todos los actos de venta y/o lotización, así como el establecimiento de nuevos asentamientos humanos en el área de influencia interior y en torno al humedal, lo que comprende tanto sus dos espejos de agua (Figura 1), como la superficie vegetal de totorales y junco existente entre ellos, y el área circundante a las extensiones a 1 Km de todas sus direcciones.

⁴² Instituto Geofísico del Perú – druiz@igp.gob.pe

⁴³ Instituto Geofísico del Perú – amartinez@igp.gob.pe

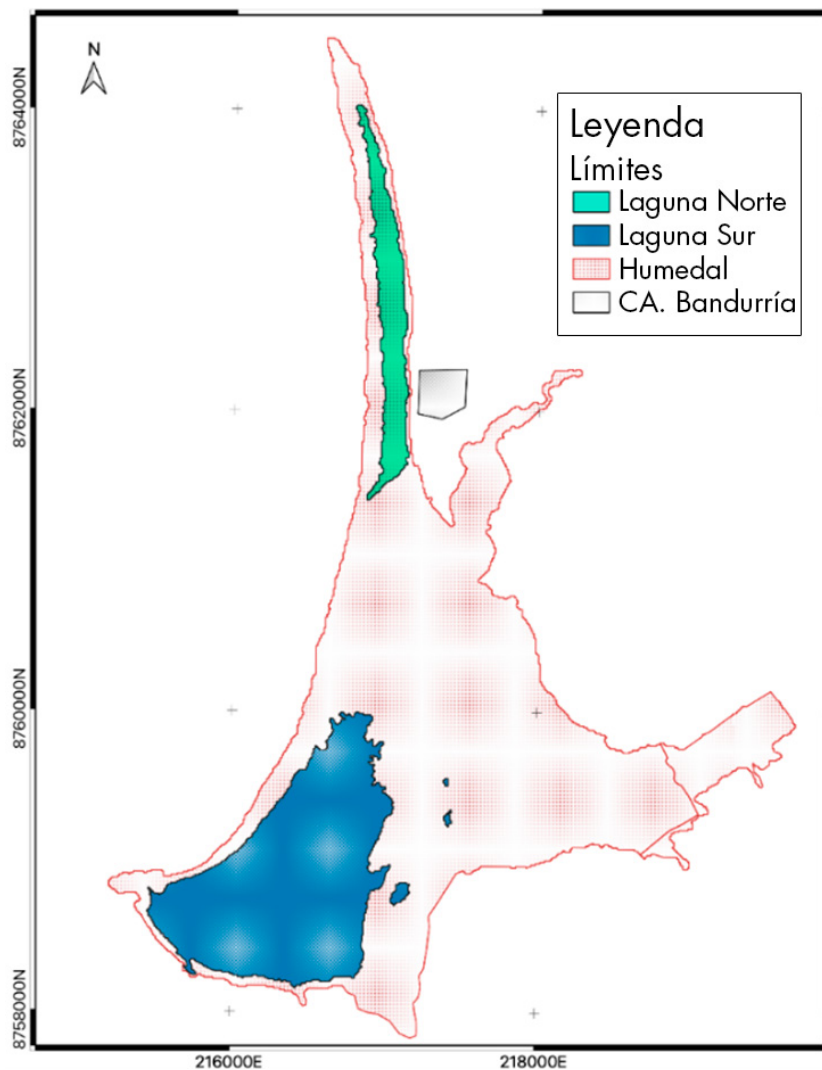


Figura 1. Zonas del humedal El Paraíso. En verde el espejo de agua norte (Laguna Norte), y en azul, el espejo de agua sur (Laguna Azul).

Fuente: Instituto Geofísico del Perú.

Además, en virtud de esa ordenanza, los proyectos industriales y otros de inversión pública y/o privada en la zona del entorno del humedal deben contar con un estudio o declaratoria de impacto ambiental, y actividades como invasiones, comercio informal, caza furtiva de aves, tránsito indiscriminado de vehículos de todo terreno, entre varios otros, quedaron prohibidos. Pocos años después, con la Ordenanza Regional N°005-2010-CR-RL se declaró de interés público regional la protección y

conservación ambiental del humedal, proponiendo al Servicio Nacional de Áreas Protegidas por el Estado (SERNANP) la creación de un área de conservación regional ACR, recayendo en las gerencias de Recursos Naturales y Medio Ambiente y de Planeamiento, Presupuesto y Acondicionamiento territorial del GORE Lima su cumplimiento.

Si bien la creación del ACR aún no se ha concretado, debido principalmente a problemas de posesión

de tierras (Cruz, 2002) (Moya, 2005) (Ramírez et al., 2010), estas ordenanzas han servido para proteger el humedal El Paraíso de acciones como las invasiones de terrenos (Figura 2), que podrían dañar el ecosistema (GORE Lima, 2017). Además, a lo largo de los años, varios grupos y

organizaciones de defensa de los humedales en general, y del humedal El Paraíso en particular – como la Asociación Pro Defensa Bandurria Paraíso (APRODEBA)–, vienen defendiendo el ecosistema de acciones que pudieran dañar su integridad.



Figura 2. Cargador frontal del GORE Lima en acción para frenar la presencia de invasiones en la zona limítrofe del humedal El Paraíso.

Fuente: (GORE Lima, 2017).

A pesar de su relativa protección, el humedal El Paraíso es susceptible ante amenazas antrópicas y biofísicas. Por ello, el presente trabajo buscó identificar la percepción de investigadores y población en general del estado conservación, principales actividades económicas y amenazas,

así como el rol de las autoridades para el cuidado y conservación del humedal. Se espera que esta información pueda brindar una base inicial para que las instituciones tomadoras de decisiones puedan identificar estrategias de trabajo para continuar con el trabajo de preservación de la albufera.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente estudio se hizo uso de herramientas virtuales para la obtención de información primaria. La toma de datos se realizó entre los meses de marzo a agosto del 2020, y debido a la situación de pandemia, se realizó una encuesta virtual a setenta actores entre autoridades, especialistas, y activistas sobre la problemática del humedal Paraíso, que incluyeron preguntas sobre el estado de conservación, amenazas y participación de las

autoridades en el ecosistema humedal El Paraíso. Con el fin de complementar la información, también se realizaron entrevistas telefónicas en profundidad, para lo cual se identificó una lista de diecisiete actores sociales y grupos de interés, a quienes se aplicó una guía de preguntas semiestructuradas que abarcaron, entre otros, los temas de expansión humana, cuidado y manejo administrativo del ecosistema.

3. PRINCIPALES ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS Y CULTURALES DEL HUMEDAL EL PARAÍSO

Ante la pregunta de respuesta múltiple sobre la identificación de actividades económicas de importancia vinculadas al humedal, cerca de la mitad de los encuestados señalaron como actividad principal al turismo: el humedal El Paraíso forma parte del circuito turístico vinculado al sitio arqueológico Bandurria –importante atractivo de la localidad, conocido desde la década de los setenta y visitado principalmente por turistas nacionales (Chu, 2006) (Falero, 2018) (Mallqui & Reyes, 2019)–, pues se ubica a pocos

metros y además cuenta con un mirador donde los visitantes pueden apreciar la vista (Figura 3), por lo que la visita a El Paraíso es, generalmente, una actividad complementaria a la visita a Bandurria. Esto significaría una variación con lo recogido por Cruz y Vásquez (2003), quienes para fines del siglo pasado encontraron que la principal actividad entre los pobladores asentados alrededor del humedal era la extracción de fibras vegetales, mientras que el turismo se mencionaba solo como una actividad potencial.



Figura 3. Mirador del Centro Antropológico de Bandurria.

Fuente: Humedal Paraíso - Huacho (2019).

Trabajos recientes estiman que el distrito de Huacho podría convertirse en un destino turístico local de importancia, pero que sería necesario desarrollar circuitos especializados y rutas culturales, donde el turismo gastronómico también tendría un lugar destacado (Noriega, 2019). También el ecoturismo, principalmente vinculado al avistamiento de aves (Figura 4), podría ofrecer una opción de economía rentable para la población circundante (Ruiz et al., 2013): la albufera El Paraíso alberga entre 89 y 109 especies de aves (Quiñonez & Hernández, 2017), y su variedad puede ser comparada en diversidad con la de otros humedales costeros de importancia nacional, como los pantanos de Villa (Guillén y

Barrios, 1994) (Wust et al., 1994). El 43,2% de las aves que alberga el humedal El Paraíso son migratorias continentales y locales, y, en general, utilizan el humedal para alimentarse, descansar y reproducirse (Cruz, Angulo, Burger y Borgesa, 2007). Algunas de las aves que se encuentran en El Paraíso son: el minero peruano o *Geositta* peruana, ave endémica de la costa peruana, el sietecolores o *Tachuris rubrigastra*, común en la región andina de Sudamérica y de colores llamativos; el junquero o *Phleocryptes melanops*, de trino fuerte y característico, o el zambullidor grande o *Podiceps major*, una de las especies más representativas del humedal (Quiñonez & Hernández, 2017).



Figura 4. Parihuana o *Phoenicoparrus andinus* en pleno vuelo en el humedal El Paraíso.

Fuente: Instituto Geofísico del Perú.

Para un tercio de los encuestados, otra actividad de importancia es la elaboración de artesanías, principalmente los trabajos de cestería y adornos tejidos en junco y totora (Figuras 5a y b). El trabajo artesanal es mayoritariamente realizado por mujeres (Yanac, 2009), y su importancia ha sido reconocida por el Estado⁴⁴ que declaró como Patrimonio Cultural de la Nación a los conocimientos y prácticas relacionados a la cestería en junco y totora en las provincias de Huara, Huaral y Barranca del departamento de Lima por constituir un “arte tradicional ancestral basado en

el uso milenario y sostenible del junco y la totora, en el que expresan conocimientos técnicos y artísticos transmitidos de generación en generación, manteniendo continuidad y a la vez innovando en la producción”. Las artesanías se venden dentro del centro arqueológico Bandurria y en los alrededores del humedal, pero también son llevados a Huacho y Lima para su comercialización. Gracias al apoyo de diversas instituciones se ha logrado mejorar e innovar en la producción artesanal, y se han formado asociaciones como la Asociación Tejesol y Bandurria Artesanos.

⁴⁴ Resolución Viceministerial N° 054-2015-VMPCIC.



Figura 5a. Trabajo de tejido del junco.

Fuente: Asociación Tejesol de Huacho (www.tejesol.com).



Figura 5b. Productos finales del trabajo artesanal.

Fuente: Asociación Tejesol de Huacho (www.tejesol.com).

La actividad de artesanía está directamente vinculada a la siembra y extracción del junco *Schoenoplectus americanus* y la totora *Schoenoplectus californicus*, importante fuente de trabajo para los pobladores de la zona. El junco se siembra en grandes áreas, principalmente en la zona sur del humedal, y su extracción se realiza de forma manual durante casi todo el año, con excepción de los meses de verano, para evitar

la proliferación de plagas por el calor (Aponte, 2009) (Aponte y Cano, 2013) (Cruz 2002), para posteriormente secarlo al aire libre (Figura 6). Entre los problemas que esta actividad presenta se cuenta la presencia de plagas como las polillas que pueden llegar a infestar el junco y la totora⁴⁵, así como dificultades en su almacenaje, y problemas de hongos, sobre todo en las épocas de mayor humedad.

⁴⁵ Entrevista al Sr. Ubaldo García –Asociación de extractores José Olaya



Figura 6. Campo de secado del junco utilizado para la preparación de artesanías.

Fuente: Asociación Tejesol de Huacho (www.tejesol.com).

Además de su uso en la actividad artesanal, el junco y la totora también son vendidos en forma de atados (de aproximadamente 800-1000 hebras) o fardos (formados por treinta atados)⁴⁶ a Huacho, Lima, Trujillo o Chiclayo, principalmente a los penales para la elaboración de colchones, mientras que la totora y el carrizo (en menor cantidad) son utilizados para la confección de esteras y petates

(Cruz y Vásquez, 2003) (Ruiz, 2008) (GORE Lima, 2009).

Otras actividades mencionadas incluyen a la actividad agrícola, la pesca, ganadería, caza y recreación, y en mucho menor grado la extracción de recursos forestales, entrenamiento militar y desarrollo inmobiliario. En la Tabla 1 se presentan los porcentajes por actividad.

⁴⁶ Se calcula que en una hectárea se pueden producir 2 000 atados (Cruz y Vásquez, 2003).

Tabla 1. Percepción sobre las actividades económicas desarrolladas en el humedal El Paraíso

Principales actividades económicas (*)	%
Turismo	45,7
Artesanía	32,9
Agricultura	18,6
Pesca	8,6
Ganadería	7,1
Caza	2,9
Recreación	2,9
Otros	4,2
NS/NR	18,6

(*) Al poder optarse por más de una respuesta, el total en porcentaje suma más de 100%.

Fuente: Encuesta de percepción de riesgo del Humedal Albufera El Paraíso. Respuesta Múltiples. Elaboración propia.

4. ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL HUMEDAL Y PRINCIPALES AMENAZAS

La percepción general que se tiene sobre el estado de conservación del humedal es de bueno a regular: de acuerdo con las encuestas realizadas, cerca del 50 % de los encuestados consideraban que la albufera El Paraíso

se encontraba más o menos conservada, cerca del 15 % lo encontraba en buen estado de conservación, y otro 15 % indicaron que el humedal no se encuentra en un buen estado de conservación (Tabla 2).

Tabla 2. Percepción sobre el estado de conservación del humedal El Paraíso

Estado de conservación	%
Si se encuentra conservado	14,3
Más o menos conservado	47,1
No se encuentra conservado	14,3
NS/ NR	1,4
No conoce el humedal	22,9

Fuente: Encuesta de percepción de riesgo del Humedal Albufera El Paraíso. Elaboración propia.

Aunque estaríamos ante la presencia de un humedal poco intervenido y en relativo buen estado, diversos estudios han identificado amenazas para el ecosistema que incluyen aquellas vinculadas al crecimiento urbano, como la existencia de basurales (Figura 7), así como cierto grado de contaminación en lo referido a los requerimientos bioquímicos en las aguas del humedal, y la presencia de contaminación microbiológica y bioquímica en el agua superficial que ingresa al ecosistema a través del canal de irrigación; mientras que otros problemas incluyen la falta de agua potable para las poblaciones que se asientan

en los alrededores, y litigios territoriales debido a la falta de claridad sobre algunos de los denuncios en los terrenos eriazos aledaños por parte de asociaciones campesinas artesanales y ganaderas, asociaciones agroindustriales o particulares (Ruiz, 2008) (Cruz, 2002) (Castro, 2020). Por otra parte, Quiñonez & Hernández (2017), y en referencia a la vulnerabilidad del hábitat de las aves del humedal, identificaron como espacio de mayor vulnerabilidad para éstas, la zona de limo y orilla marina hacia el sur del humedal, debido al permanente tránsito de vehículos motorizados, el mal manejo de residuos sólidos por los visitantes, y la presencia de perros.



Figura 7. Basurales cercanos al humedal El Paraíso.

Tomado de Ruiz, (2008, Fig. 89f).

A través de una pregunta de respuesta múltiple, se recogió la percepción sobre las principales

amenazas al humedal El Paraíso, cuyas respuestas se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Percepciones de las principales amenazas al humedal El Paraíso

Amenazas (*)	%
Expansión urbana	50,0
Tráfico de terrenos	44,3
Falta de cuidado de los vecinos	21,4
Sobreexplotación de los recursos naturales	14,3
Las aguas de regadío de las zonas agrícolas cercanas afectan los niveles hídricos	2,9
Sobrepesca - Pesca artesanal	2,9
Fenómeno El Niño	2,9
Otros	11,2
NS/NR	4,3

(*) Al poder optarse por más de una respuesta, el total en porcentaje suma más de 100%.

Fuente: Encuesta de percepción de riesgo del Humedal Albufera El Paraíso. Elaboración propia. Respuesta Múltiples

La mitad de los encuestados señalaron a la expansión urbana como una amenaza al humedal, la que se manifiesta por la presencia de vertimientos de residuos sólidos y desmonte en forma de basurales (Ruiz, 2008), así como la presencia de residuos sólidos dejados por los visitantes en las playas circundantes al humedal (Figura 8): por ejemplo, en los últimos años la municipalidad de Huaura ha venido promocionando la playa llamada Paraíso,

colindante con el espejo de agua en la zona sur del humedal, pero el aumento de visitantes no ha ido a la par de un mayor control, y a pesar de que la municipalidad realiza jornadas de limpieza de playas durante el verano, la basura se acumula y el viento lleva la basura hacia el humedal⁴⁷ (Figura 4). Esta amenaza estaría vinculada a la respuesta de “falta de cuidado de los vecinos”, la que aparece mencionada por más de un quinto de los encuestados.

⁴⁶ Entrevista Miguel Romero Baldeón, fundador y presidente de la Asociación Prodefensa Bandurria y Paraíso.



Figura 8. Contaminación de residuos sólidos en el humedal (2020).

Fuente: Instituto Geofísico del Perú.

El tráfico de terrenos también es indicado como una amenaza de importancia para el humedal, y estaría vinculado tanto a la presencia de invasiones y lotizaciones en los alrededores de la zona sur del humedal, como a la falta de saneamiento físico legal de los terrenos eriazos circundantes al humedal, situación que es un impedimento para lograr conseguir cualquier tipo de estatus de conservación, incluyendo el de área de conservación regional (ACR). Sobre este último punto, varios de los entrevistados indicaron haber tenido o haber sido testigos de problemas con los propietarios de los terrenos que a menudo impedían el paso,

evitando que pudieran realizar sus actividades, principalmente vinculadas con la producción de totora y junco.

Otras amenazas identificadas fueron la sobreexplotación de los recursos naturales, principalmente del junco y la totora; la presencia de aguas de regadío de las zonas agrícolas cercanas al humedal, pues los canales de riego que cruzan la carretera Panamericana norte que podrían transportar sedimentos y compuestos agroquímicos; la sobrepesca –sobre todo del recurso lisa–, el fenómeno de El Niño, que en el evento extraordinario de 1997-98 se manifestó con

calor excesivo, una disminución de las filtraciones de agua, plagas de ratas, pérdida de cultivos, etc. (Cruz y Vásquez, 2003).

En las entrevistas en profundidad, varios especialistas entrevistados mostraron su preocupación por actividades como la ganadería de vacunos, la agricultura y la caza, pues podrían estar afectando a las comunidades vegetales, aves y a todo el humedal como ecosistema, preocupación compartida por estudios sobre la estructura y amenazas de las comunidades vegetales de los humedales de la costa central del país (Aponte & Ramírez, 2011). Un peligro adicional mencionado fue la alteración del nivel de las aguas subterráneas, y aunque no se han encontrado estudios específicos sobre el agua subterránea de El Paraíso, se cuenta con información sobre el caso de la albufera de Medio Mundo, donde hay indicios de que el uso

del agua para agricultura, así como el uso de agua subterránea para actividades avícolas y uso poblacional podría estar afectando la recarga del acuífero (Rodríguez, 2017), situación que podría estar ocurriendo también en El Paraíso.

También en las entrevistas en profundidad se mencionó al turismo no regulado como una actividad que a futuro podría ocasionar problemas al ecosistema, en caso de no regularse y gestionarse correctamente⁴⁸, especialmente en la zona sur por las visitas veraniegas ya mencionadas. Al respecto, la percepción sobre la potencial afectación del turismo al ecosistema, muestra que solo un poco más del 8 % de los encuestados pensaba que sí habría una afectación, y cerca de un tercio de los encuestados manifestó que la afectación es/sería regular. En la Tabla 4 se muestran los resultados sobre las percepciones relacionadas a la afectación del turismo.

Tabla 4. Percepción sobre la afectación del turismo al humedal El Paraíso

¿El turismo afecta al humedal?	%
Si lo afecta	8,6
Lo afecta más o menos	28,6
Lo afecta un poco	32,9
No lo afecta	27,1
NS/NR	2,9

Fuente: Encuesta de percepción de riesgo del Humedal Albufera El Paraíso. Elaboración propia

⁴⁸ Entrevista Jorge Víctor Velásquez Escobedo Especialista en Recursos Naturales – GORE Lima

Finalmente, ante la pregunta sobre la posibilidad de ocurrencia de un evento extremo que podría afectar el ecosistema, solo el 27,1 % de los encuestados consideró que El Paraíso podría sufrir de algún tipo de evento de gran envergadura que afectara al

humedal, o su flora y fauna, mientras que el 12,9 % indicó que el humedal tiene una alta capacidad de resiliencia ante fenómenos de origen geofísico como sismos o tsunamis que podrían afectarlo de manera temporal (14,3 %).

5. IMPORTANCIA DEL HUMEDAL EL PARAÍSO

Los humedales son ecosistemas vitales para la supervivencia humana, pues constituyen algunos de los entornos más productivos del mundo, y son cuna de diversidad biológica y fuentes de agua y productividad primaria de la que innumerables especies vegetales y animales dependen para subsistir; y los servicios ecosistémicos que brindan a la humanidad incluyen desde el suministro de agua dulce, alimentos y materiales de construcción, hasta control de crecidas, recarga de aguas subterráneas y mitigación del cambio climático (Ramsar, s/f); sin embargo, es usual que el potencial biológico y turístico del litoral costero y de los humedales que alberga sean poco conocidos (Malnati, 1982), y el caso específico de El Paraíso no sería la excepción, pues sus pobladores tendrían escasa información

sobre lo que es un humedal, así como conocimiento limitado sobre la importancia que tienen (Ruiz, 2008).

Una sección de las encuestas realizadas se orientó a conocer los motivos por los que el humedal El Paraíso es considerado importante: los principales motivos esgrimidos fueron a) debido a que es hábitat de una gran variedad de seres vivos (75,7 %), b) por su valor cultural y recreacional (18,6 %), y c) por que las poblaciones que dependen económicamente de él (17,1 %). Solo porcentajes menores señalaron que su importancia se debía a que es un ecosistema frágil que ofrece diversidad de servicios ecosistémicos, por poseer un gran valor ambiental, económico y social, o porque es un lugar paisajístico (Tabla 5).

Tabla 5. Importancia de su conservación del Humedal Albufera El Paraíso

Importancia de su conservación	%
Es un importante hábitat para muchos seres vivos	75,7
Es un ambiente de gran valor cultural y recreacional	18,6
Las poblaciones dependen económicamente de los humedales	17,1
Otros	11,4
NS/NR	2,9

(*) Al poder optarse por más de una respuesta, el total en porcentaje suma más de 100%.

Fuente: Encuesta de percepción de riesgo del humedal El Paraíso. Respuesta Múltiples. Elaboración propia.

Durante las entrevistas en profundidad se identificó que uno de los principales problemas para lograr la gestión efectiva de los humedales costeros en general, y del humedal El Paraíso en particular, es la falta de articulación entre los diferentes niveles del gobierno subnacional, así como de los diferentes sectores involucrados. Sobre el primer punto: El Paraíso pertenece administrativa y políticamente tanto al distrito de Huacho, a la provincia de Huara, y al GORE Lima, los que tienen responsabilidades compartidas con respecto al humedal. Dado que El Paraíso no cuenta con ninguna categoría de conservación, no existe una única cabeza visible que pueda liderar su gestión y coordine acciones multisectoriales y de largo plazo, por ejemplo, con instituciones como el SERFOR que ve el aprovechamiento forestal, el ANA con la administración del agua⁴⁹, etc.

A pesar de estas dificultades el GORE Lima han venido tomando medidas que han permitido dar algunos pasos hacia la conservación del ecosistema: por ejemplo la conformación del comité de vigilancia ambiental del humedal Lagunas El Paraíso, integrado por las autoridades locales, la Asociación de Pobladores José Olaya, la Asociación Campesina Ganadera de Pequeños Artesanos San Agustín de Puñun, la Asociación Agroindustrial Miramar y la Asociación Prodefensa Bandurria y Paraíso; todas ellas asentadas dentro o en los alrededores del humedal⁵⁰. Además, se cuenta con la intervención de algunas organizaciones como la ONG CooperAcción y la Asociación Prodefensa Bandurria y Paraíso que trabajan de manera sustentable los recursos naturales y la conservación del ecosistema.

⁴⁹ Entrevista Karina Takahashi - Gerente Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente – GORE Lima.

⁵⁰ Entrevista al Sr. Constante Muñoz - Asociación de extractores José Olaya.

6. DISCUSIÓN

A pesar de la importancia reconocida a nivel internacional de los humedales, el conocimiento sobre lo que son los humedales y las potencialidades que presentan para el bienestar humano si es que se les gestiona adecuadamente, aún es poco difundido. Tal como se presentó en las secciones anteriores, la percepción sobre la importancia del humedal El Paraíso está orientada principalmente a aspectos a su condición de hábitat de especies de flora y fauna, así como por su “valor cultural y recreacional”, vinculados a aspectos turísticos, pero reconociéndose poco o muy poco su valor en la gestión del riesgo de desastres como estabilizador de costas, regulador de cantidad y calidad del agua, defensa ante tormentas severas y la acción de vientos fuertes, o como proveedor de recursos para consumo directo (como caza y pesca).

Si bien su categorización como un área de conservación podría aliviar algunos problemas, principalmente vinculados con la coordinación intersectorial que podría permitir un mejor manejo de recursos para su cuidado, esta nueva condición podría significar la inclusión de nuevas regulaciones del uso de los recursos naturales del humedal que podrían modificar sustancialmente la forma en que el ecosistema es actualmente utilizado por las poblaciones locales que hacen uso de los servicios ecosistémicos que la albufera brinda, y que en muchos casos representa su principal sustento económico. Por ello, un análisis profundo de quienes son dichos usuarios y cómo es que utilizan los recursos del humedal será necesario para asegurar que la creación del ACR sea no solo efectiva, sino sostenible a largo plazo.

Referencias

- Aponte, H. (2009). El junco: clasificación, biología y gestión. *Científica* 6(1), págs. 38-45. Revista de la Universidad Científica del Sur.
- Aponte, H. y Cano, A. (2013). Estudio florístico comparativo de seis humedales de la costa de Lima (Perú): Actualización y nuevos retos para su conservación. *Revista Latino Americana de Conservación*. 3(2). 15-27. Recuperado de: http://aplicaciones.cientifica.edu.pe/repositorio/catalogo/_data/5.pdf
- Aponte, H. y Ramírez, D. (2011). Humedales de la costa central del Perú: estructura y amenazas de sus comunidades vegetales. *Ecología Aplicada*, 10(1). Págs. 31-39. Recuperado de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v10n1/a04v10n1.pdf>
- Chu, A. (2006). Arquitectura monumental precerámica de Bandurria, Huacho. *Boletín De Arqueología PUCP*, (10), 91-109. Recuperado a partir de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/boletindeferqueologia/article/view/1648>
- Convención de Ramsar sobre los Humedales. (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. Recuperado de: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/gwo_s.pdf
- Castro, N. (2020). Diagnóstico de las actividades antrópicas en humedales de la costa central del Perú. Trabajo de investigación para optar el grado de Bachiller en Ingeniería Ambiental. Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur.
- Cruz, Z. (2002). Evaluación del estado de conservación de las lagunas "El Paraíso", Provincia de Huaura, departamento de Lima, Perú. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae, Especialidad de Conservación de Recursos Forestales, Escuela de Post Grado, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Cruz, Z., Angulo, F., Burger, H. y Borgesa, R. (2007). Evaluación de aves en la laguna El Paraíso. *Revista Peruana de Biología*. 14(1). 139-144. Recuperado de: <https://revistasinvestigacion.unsm.edu.pe/index.php/rpb/issue/view/150>
- Cruz, Z., y Vásquez, P. (2003). Uso de recursos naturales en las lagunas costeras El Paraíso. *Anales científicos, UNALM*, Vol. LIII-A, págs. 146-155.
- Falero Reyes, Sara Jhoselyn (2018). El desarrollo turístico y la promoción en el complejo arqueológico Bandurria del distrito de Huacho, 2018. Tesis para optar el título profesional de Licenciado en Turismo y Hotelería, Facultad de Ciencias Empresariales de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
- GORE Lima, (2009). Expediente Técnico Área de Conservación Regional Los Humedales El Paraíso. Gobierno Regional de Lima. Lima-Perú.
- GORE Lima. (2017). Gobierno Regional de Lima interviene en remediación ambiental de albufera El Paraíso Huacho. Noticia del SIAR Lima. Recuperado de: <http://siar.regionlima.gob.pe/novedades/gobierno-regional-lima-interviene-remediacion-ambiental-albufera>
- Humedal Paraíso - Huacho. (2019). Hermosa vista desde los miradores del Complejo Arqueológico Bandurria. Facebook del Humedal Paraíso - Huacho. Recuperado de: <https://www.facebook.com/Albueferaparaiso/photos/420994991868746>
- IPCC (2001): *Climate Change 2001. Impacts adaptation and vulnerability*. IPCC, WMO, UNEP. Cambridge University Press. UK p. 1009.
- Malnatti, L. (1982). La Contaminación de las Aguas en el Perú. *Boletín de Lima*, (21), 78 - 85.
- Mallqui, J., Falero, S. (2019). El desarrollo turístico y la promoción en el complejo arqueológico Bandurria Distrito de Huacho, 2018. El desarrollo turístico y la promoción en el complejo arqueológico Bandurria, distrito de Huacho, 2018. Tesis para obtener el título profesional de licenciado en Turismo y Hotelería, Escuela Profesional de Gestión en Turismo y Hotelería, Facultad de Ciencias Empresariales, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
- Moya, B., Hernández, A., Elizalde, H. (2005) Humedales ante el Cambio climático, *Investigaciones geográficas*. N°37. 127-132. Recuperado de: <https://www.investigacionesgeograficas.com/issue/view/2005-n37>

Noriega, C. H. (2019). Huacho y Huaura, encantos a medio norte. *Cultura*, 33, 207-234 (enero – diciembre). Doi.org/10.24265/cultura.2019.v33.12. Recuperado de: http://www.revistacultura.com.pe/revistas/RCU_33-huacho-huaura.pdf

Pronaturaleza (2010). Humedales de la Costa Peruana. Documento base para la elaboración de una estrategia de conservación de los humedales de la costa peruana. Lima (Perú). Pronaturaleza. Recuperado de: http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/humedales_de_la_costa_peruanavf.pdf

Quiñonez A. S., Hernández, F. (2017). Uso de hábitat y estado de conservación de las aves en el humedal El Paraíso, Lima, Perú. *Revista Peruana de Biología* 24(2): 175-186 p. Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM.

RAMSAR (s/f). <https://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-importancia-de-los-humedales>

Rodríguez, M. (2017). Variación de humedales costeros e irrigaciones agrícolas: El caso de la albufera de Medio Mundo y el área agrícola de Huaura. Tesis para optar el título de

Licenciada en Geografía y Medio Ambiente, Facultad de Letras y Ciencias Humanas, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Ruiz, B. (2008). Impacto antrópico sobre los humedales El Paraíso, Medio Mundo y La Encantada, Huaura, Lima-Perú, 2007-2008. Tesis para optar el grado académico de doctor en Ciencias Ambientales, Programa Doctoral en Ciencias Ambientales, Escuela de Post Grado, Universidad Nacional de Trujillo.

Ruiz, B., Rodríguez, R., Ipanaqué, J. (2013). Determinación de la acumulación de Metales Tóxicos en agua, sedimento y biota del Humedal El Paraíso. *Infinitem*, 3(2). 33-39. Recuperado de: <http://revistas.unjpsc.edu.pe/index.php/INFINITUM/issue/view/28>

Yanac, L. (2009). Estereotipos de género que autolimitan el desarrollo integral de las mujeres artesanas de junco pertenecientes a la provincia de Huaura (mayo-diciembre 2003). Tesis para optar el título profesional de Licenciatura en Ciencias Sociales, especialidad de Trabajo Social, facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.





© Instituto Geofísico del Perú

Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa, Ate, Lima 15074, Perú

Central Telefónica: +51 1 317-2300

<http://www.gob.pe/igp>

<http://www.facebook.com/igp.peru>

http://twitter.com/igp_peru