

Evaluación de la vegetación y saturación del suelo en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla mediante teledetección en Perú, 2006-2021

Evaluation of vegetation and soil saturation in the Ventanilla Wetlands Regional Conservation Area using remote sensing in Peru, 2006-2021

David Josias Camas Guardamino¹, Maryori Sofia Mamani Sinche²

[Recibido: 4 de setiembre 2021, Aceptado: 18 de octubre 2021, Corregido: 11 de noviembre 2021, Publicado: 1 de enero 2022]

Resumen

[**Introducción**]: En 2006, en Perú, se creó el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla (ACR), cuyos objetivos son conservar una muestra representativa de estos, proteger los suelos y vegetación, evitar la degradación y pérdida de biodiversidad, y aprovecharlo económica y académicamente. [**Objetivo**]: Se evaluó el ACR dentro de lo que fue la zona de amortiguamiento desde meses antes de su creación hasta 2021 mediante herramientas de teledetección (ICEDEX y NDVI) para conocer el estado de la vegetación y saturación del suelo. [**Metodología**]: Se delimitó el área de estudio, se adquirieron imágenes satelitales, se preprocesaron y procesaron utilizando índices de vegetación y saturación del suelo y clasificación no supervisada y se analizaron los resultados. [**Resultados y discusión**]: Se encontró que, respecto a suelos saturados, hubo una pérdida de 45.99 ha y una ganancia de 18.63 ha, la pérdida acentuada en la zona norte del ACR y la ganancia en la franja costera, mientras que para la vegetación se encontró una ganancia de 27.63 ha y una pérdida de 5.04 ha, la ganancia se dio principalmente en la franja costera y la pérdida en los límites del ACR. Esto evidenciaría un proceso de eutrofización en el ACR, posiblemente debido a causas antrópicas que son las principales amenazas de este ecosistema. [**Conclusión**]: Se demostró la variación de la vegetación y saturación de suelo desde la creación del ACR, mediante herramientas de teledetección y estos apuntan a un posible proceso de eutrofización que deben motivar al aumento de esfuerzos para la conservación de este ecosistema.

Palabras clave: Área natural protegida; eutrofización; ICEDEX; NDVI; presión antrópica.

Abstract

[**Introduction**]: In 2006, the Peru government created the Ventanilla Wetlands Regional Conservation Area (RCA) to conserve a representative sample of wetlands, protect soils and vegetation, prevent degradation and biodiversity loss, and promote their economic and academic use. [**Objective**]: The aim was to evaluate the RCA in what it was its buffer zone from months before its creation to 2021 by using remote sensing tools (ICEDEX and NDVI) to assess the state of vegetation and soil saturation. [**Methods**]: It consisted in the delimitation of the study area, acquisition of satellite images, pre-processing and processing of the images by using vegetation and soil saturation indexes

- 1 Estudiante de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica (FIGMMG), Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú; david.camas@unmsm.edu.pe; <https://orcid.org/0000-0001-7319-7623>
- 2 Estudiante de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica (FIGMMG), Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Callao, Perú; maryori.mamani@unmsm.edu.pe; <https://orcid.org/0000-0002-4954-4100>



and unsupervised classification, and interpretation of the results. [Results]: We found that about soil saturation there was a loss of 45.99 ha and a gain of 18.63 ha, the loss was accentuated in the northern zone of the RCA and the gain in the coastal strip, meanwhile for vegetation there was a gain of 27.63 ha and a loss of 5.04 ha, the gain was mainly in the coastal strip and the loss in the limits of the RCA. This evidence a process of eutrophication in the RCA, possibly due to anthropogenic causes, which are the main threats to this ecosystem. [Conclusions]: The variation of vegetation and soil saturation since the creation of the RCA was demonstrated by remote sensing tools and these suggest a possible eutrophication process that should motivate increased efforts for the conservation of this ecosystem.

Keywords: anthropic pressure; eutrophication; ICEDEX; NDVI; protected natural area.

1. Introducción

Los humedales están presentes en todo el planeta tierra y, debido a su diversidad, no hay una única definición que alcance a englobar la totalidad de sus características, la única particularidad que comparte la mayoría es el suelo saturado o cubierto de agua (Cowardin *et al.*, 1979). Para efectos prácticos y de forma general, se puede decir que los humedales son áreas donde el medio y la vida, vegetal, animal, etc., están controlados por el agua (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2016), ya que la saturación de agua en la superficie determina el desarrollo del suelo y, por tanto, de los organismos que lo habitan (Cowardin *et al.*, 1979).

Se sabe que los humedales son medios naturales sumamente importantes y productivos para el mundo, ya que son espacios donde se alberga y se da sustento a gran cantidad de biodiversidad y sirven como depósito de material genético, así mismo; los humedales representan, debido a su capacidad de adaptarse a condiciones dinámicas, espacios clave para el sustento de generaciones futuras frente a los impactos del cambio climático (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2016).

En Sudamérica, la heterogeneidad en la extensión latitudinal y longitudinal del continente y el rango altitudinal que alcanza, además de su diversidad geológica y climática con influencia de los océanos Pacífico y Atlántico, generan diversos tipos de humedales (Junk *et al.*, 2014). Según Galán de Mena y Linares Perea (2008), en Sudamérica, se pueden identificar 4 grupos de humedales por su situación geográfica y composición florística. Entre ellos están los humedales andinos neotropicales, los humedales andinos patagónicos y de clima templado, los humedales de la Cuenca Amazónica y de las sabanas inundables del Orinoco, Mato Grosso y Moxos y los humedales de la región desértica pacífica, donde se encuentran los Humedales de Ventanilla.

En el año 2006, mediante Decreto Supremo No074-2006-AG se creó el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla (en adelante ACR) en la Provincia Constitucional del Callao. Las Áreas de Conservación Regional son un tipo de Áreas Naturales Protegidas (ANP) con importancia ecológica significativa y se establecen por propuesta de los Gobiernos Regionales que tramitan su creación en su jurisdicción y son los encargados de su gestión (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas – SERNANP, 2010). Los objetivos del ACR son conservar



una muestra representativa de los humedales de la ecorregión Desierto Pacífico Subtropical, contribuir con la Zonificación Ecológica y Económica de la región, la protección de suelos y vegetación, el control y mitigación de amenazas sobre los humedales, evitar la degradación y pérdida de la biodiversidad, y crear condiciones para realizar actividades de ecoturismo, recreativas, científicas, educativas y culturales (Decreto Supremo No074-2006-AG, 2006). Esta muestra abarca una riqueza florística representada por plantas de porte herbáceo y arbustos, 90 y 10 % respectivamente, las plantas totales acuáticas representan el 30 % de la totalidad de especies y el 75 % de las especies tienen por lo menos un uso, generalmente medicinal (Aponte Ubillus & Ramírez, 2014). Por otro lado, se han identificado 121 especies de aves, tanto residentes como migratorias, además, se han hallado 2 especies endémicas (*Geositta peruviana* y *Cinclodes taczanowskii*) (Carazas *et al.*, 2015).

Según la Ley de Áreas Naturales Protegidas (2008), las zonas de amortiguamiento son espacios adyacentes a las áreas naturales protegidas que requieren un tratamiento especial para garantizar su conservación, además su extensión se define en el Plan Maestro de cada área. En el caso del ACR, el Plan Maestro 2009–2014 establece una zona de amortiguamiento con una superficie estimada de 996.1 ha demarcada por los límites naturales de la cuenca arceica que contiene a estos humedales (Gobierno Regional del Callao, 2009). Sin embargo, al no encontrarse delimitada por hitos, se ha registrado una pérdida de esta zona causada por incendios, intentos de invasión y quema de residuos (Aponte Ubillus *et al.*, 2015), lo que significaría que se están disminuyendo grandes extensiones de terreno a causa, principalmente, de la expansión urbana (Muguruza, 2015). A este problema se le suma el hecho de que en la actualidad no hay un Plan Maestro vigente, lo que supone la ausencia de una zona de amortiguamiento para el ACR. Esta situación fue la causante de que se aprobará la Ordenanza Municipal No 013-2020 (Municipalidad Provincial del Callao, 2020) que permite el cambio de zonificación, de residencial a industrial, de un predio ubicado en parte de lo que era la zona de amortiguamiento. Tal ordenanza se ampara en lo señalado por la Dirección de Desarrollo Estratégico-SERNANP (2016) en su Informe No 1028-2016-SERNANP-DDE, donde se ratifica que el ACR no cuenta con una zona de amortiguamiento.

Por lo antes descrito, es posible decir que la, ahora inexistente, zona de amortiguamiento se encuentra en un estado vulnerable y, por lo tanto, también lo está el propio ACR. Por este motivo, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la vegetación y saturación del suelo del ACR dentro de lo que fue su zona de amortiguamiento, desde meses antes de su creación en 2006 hasta el año 2021, para lo cual se han utilizado imágenes satelitales Landsat y herramientas como los índices ICEDEX y NDVI.



2. Metodología

La investigación realizada es de tipo no experimental, transversal y descriptiva y se desarrolló con un análisis inicial del área de estudio, la adquisición de datos provenientes del satélite Landsat, el preprocesamiento de estos, un posterior procesamiento y finalmente el análisis de estos resultados, tal como se presenta en el esquema de la **Figura 1**.

2.1 Área de estudio

El área de estudio comprende el ACR, establecido en 275.49 ha, dentro de lo que fue su zona de amortiguamiento de 996.1 ha, ubicados en la zona centro occidental del distrito de Ventanilla, en la provincia Callao, como se muestra en la **Figura 2**.

Los límites del ACR son por el norte la Av. La Playa – Balneario Costa Azul, por el sur las zonas eriazas de las estribaciones finales de los cerros Colinar y Los Perros, por el este la Av. Miguel Grau y por el oeste las playas de Ventanilla ([Decreto Supremo No074-2006-AG, 2006](#)). En el caso de la antigua zona de amortiguamiento, esta limita por el norte con los cerros y colinas bajas del cordón ecológico de Ventanilla – Pachacutec, por el oeste con la línea de playa del Balneario Costa Azul, por el sur con el sistema rocoso del cerro Los Perros y por el este con las cumbras y crestas de los cerros y colinas adyacentes al cerro Los Perros hasta el Asentamiento Humano (AAHH) Licenciados de la Patria, cruzando el área urbana hacia la avenida La Playa hasta bordear los límites del Parque Ecológico del Mirador de Ventanilla ([Gobierno Regional del Callao, 2009](#)).



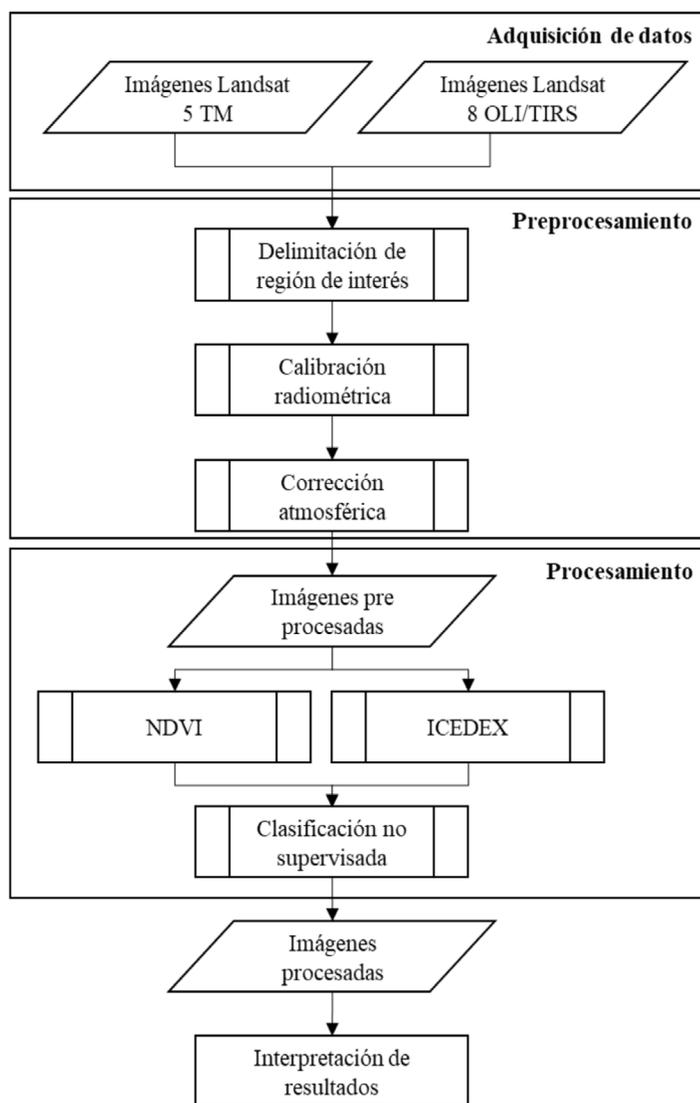


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología.
Figure 1. Methodology flowchart.

Para proceder con la adquisición de datos fue necesario crear dos vectores, tanto del ACR como de la antigua zona de amortiguamiento, para limitar la región de interés y superponerlas a cada imagen para los respectivos fines.



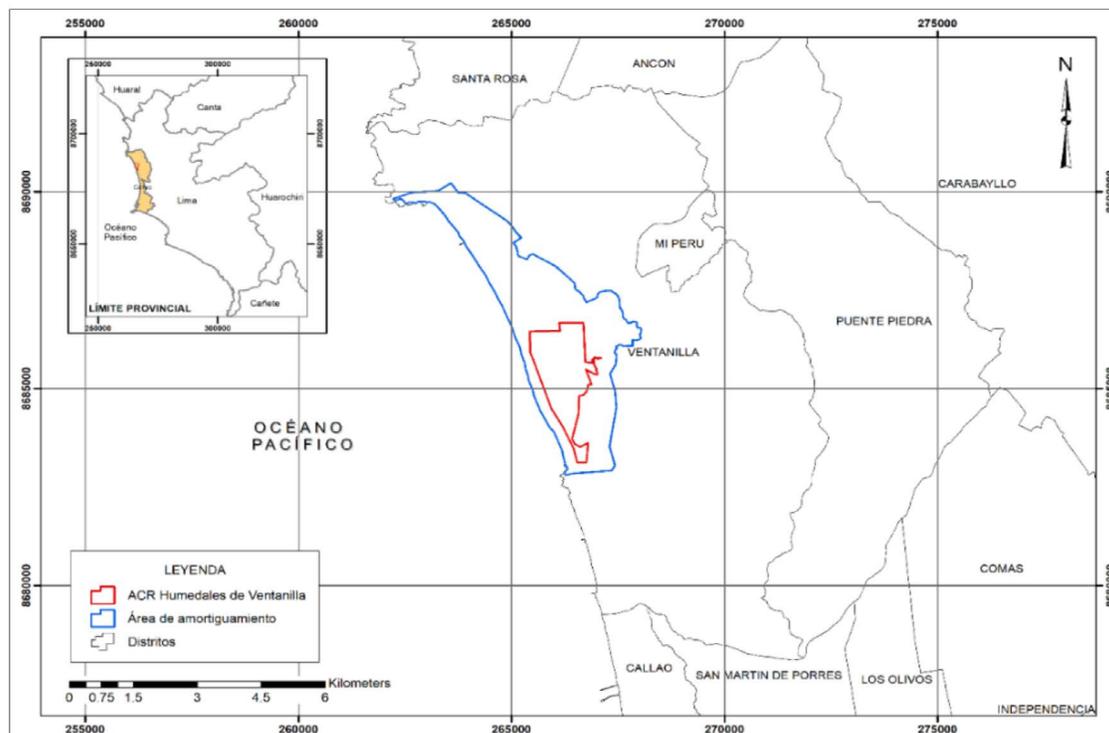


Figura 2. Mapa de ubicación del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla enmarcado en lo que alguna vez fue su zona de amortiguamiento.

Figure 2. Ventanilla Wetlands Regional Conservation Area (RCA) location map framed in what was once its buffer zone.

2.2 Adquisición de datos

Para la evaluación del ACR se usaron imágenes satelitales de nivel 1 generadas por los sensores TM (Landsat 5) y OLI/TIRS (Landsat 8), como se muestra en el **Cuadro 1**, las cuales se adquirieron mediante acceso libre del U.S. Geological Survey (USGS). Se decidió trabajar con un intervalo de cinco años entre imágenes para obtener resultados que comparen el estado inicial y final del ACR, además de mostrar los escenarios de cambio entre estos, por lo que el intervalo propuesto se ajusta a esta medida. Además, se priorizó el mes de marzo, ya que al encontrarse el ACR dentro del sistema hídrico del río Chillón puede verse influenciado por las descargas de este, cuyo mayor volumen promedio anual ocurre entre los meses de diciembre y abril ([Gobierno Regional del Callao, 2009](#)), lo que generaría un aumento en la cantidad de agua del humedal. Otra razón para optar por este mes es que las imágenes satelitales presentaban menor nubosidad a comparación de otros meses.



Cuadro 1. Imágenes seleccionadas para la evaluación.
Table 1. Selected images for evaluation.

Sensor	Fecha	ID
Landsat 5 TM	09 de marzo de 2006	LT05_L1TP_007068_20060309_20161122_01_T1
	07 de marzo de 2011	LT05_L1TP_007068_20110307_20161209_01_T1
Landsat 8 OLI/TIRS	04 de marzo de 2016	LC08_L1TP_007068_20160304_20180130_01_T1
	02 de marzo de 2021	LC08_L1TP_007068_20210302_20210311_01_T1

2.3 Preprocesamiento

2.3.1 Calibración radiométrica

La información generada por los sensores TM y OLI/TIRS es guardada en formato de radiancia absoluta, posteriormente, para su distribución, son escalados a valores que representan números digitales (ND) (Chander & Markham, 2003). Sin embargo, para evidenciar cambios en la superficie terrestre en tiempo y espacio, así como entre múltiples sensores, es necesario trabajar con una escala radiométrica común físicamente significativa (Chander *et al.*, 2009), es decir, se debe convertir los ND a valores de radiancia (L), para lo cual se usó las herramientas proporcionadas por el software ENVI 5.3.

2.3.2 Corrección atmosférica

Se realizó utilizando el módulo de corrección atmosférica FLAASH (Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) en el programa ENVI versión 5.3, el cual elimina la mayor parte de la influencia que tienen el aire, la luz y otros factores de reflectancia, para obtener parámetros más precisos de reflectividad, emisividad, temperatura de la superficie y otros modelos físicos reales, propios de la superficie (ITT Visual Information Solutions, 2009).

Para la ejecución de dicho módulo, se eligió un modelo tropical y rural y fueron necesarios parámetros de escena (fecha y hora, altitud del sensor, tamaño de píxel y elevación de terreno), parámetros climáticos (modelo atmosférico, modelo aerosol, recuperación de agua y visibilidad) y la imagen calibrada radiométricamente (Lora López, 2016).

2.4 Procesamiento

2.4.1 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Para la obtención de este índice, se cuenta con la (Ecuación 1), la misma que se utilizó en el software ENVI 5.3 para la realización de los cálculos. A grandes rasgos, el procedimiento consiste en definir la ecuación en la herramienta Band Math del software y establecer con que bandas se va a trabajar, posteriormente se ejecuta el cálculo y se muestra el resultado. El NDVI,



según Pettorelli (2013), se basa en los patrones característicos de absorción y reflectancia de la vegetación en la banda roja del espectro electromagnético, ya que la vegetación tiene una alta absorción de la luz visible y una alta reflectancia del infrarrojo cercano. En el presente estudio se utilizará este índice para estimar y comparar la presencia de vegetación en el ACR en el periodo 2006-2021.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (E. 1)$$

Donde:

NDVI: índice de vegetación de diferencia normalizada.

NIR: banda del infrarrojo cercano (banda 4 o banda 5, para el sensor TM u OLI/TIRS respectivamente).

RED: banda roja (banda 3 o banda 4, para el sensor TM u OLI/TIRS respectivamente).

2.4.2 Índice del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (ICEDEX)

Para este índice se cuenta con la **Ecuación 2** y, análogamente al NDVI, se utiliza la herramienta Band Math del software ENVI 5.3 para la realización de los cálculos y la obtención de los resultados. Por otro lado, este índice ha sido utilizado por el Instituto Ambiental Español CEDEX con el fin de mapear aguas continentales y es uno de los que presenta valores más estables (Ariza *et al.*, 2014). Además, se optó por este índice puesto que, como lo indican Delpino Aguayo *et al.* (2018) en su estudio de evaluación de índices espectrales para la caracterización de humedales, el ICEDEX es el mejor indicador para determinar áreas saturadas de agua de aquellas libres de esta, gracias al alto nivel de contraste que ofrece y que permite el análisis de áreas costeras y sus bordes, cursos, vegetación acuática, entre otros.

$$ICEDEX = \frac{NIR}{RED} - \frac{NIR}{SWIR} \quad (E. 2)$$

Donde:

ICEDEX: Índice del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

NIR: banda del infrarrojo cercano (banda 4 o banda 5, para el sensor TM u OLI/TIRS respectivamente).

RED: banda roja (banda 3 o banda 4, para el sensor TM u OLI/TIRS respectivamente).

SWIR: banda del infrarrojo corto (banda 5 o banda 6, para el sensor TM u OLI/TIRS respectivamente).



2.4.3 Clasificación no supervisada

Las imágenes procesadas en ENVI 5.3 fueron trasladadas al software ArcMap 10.8 donde se realizó la clasificación de estas con el método de Clasificación No Supervisada, para lo cual se usó rangos: cuatro para el índice NDVI, mostrados en el **Cuadro 2**, basados en la clasificación propuesta por Mohamed Eid *et al.* (2020) y otros dos para el ICEDEX, mostrados en el **Cuadro 3**, planteado por Bustamante *et al.* (2005).

Cuadro 2. Clasificación de NDVI para el ACR.

Table 2. NDVI classification for the RCA.

Valor de NDVI	Clasificación
-1 a 0.2	Sin vegetación
0.2 a 0.4	Vegetación dispersa
0.4 a 0.6	Vegetación moderada
0.6 a 1	Vegetación densa

Fuente: Mohamed Eid *et al.* (2020).

Cuadro 3. Clasificación de ICEDEX para el ACR.

Table 3. ICEDEX classification for the RCA.

Valor de ICEDEX	Clasificación
0.4 a menos	Suelo saturado
0.4 a más	Suelo seco

Fuente: Bustamante *et al.* (2005).

3. Resultados

3.1 Variación de la vegetación en el ACR`

Los cambios de vegetación se presentan en el **Cuadro 4**, donde se puede observar que hubo un aumento en la vegetación densa y moderada en el último año (6.30 y 19.80 ha, respectivamente) en comparación con el primer año, así como una disminución del suelo sin vegetación y de la vegetación dispersa en el 2021 (22.59 y 3.51 ha, respectivamente) en comparación con el año 2006. En la **Figura 3** se presenta la detección de cambios de vegetación de manera espacial en el ACR dentro de su antigua zona de amortiguamiento. Así mismo, en el **Cuadro 5** se presenta una comparación multitemporal de la vegetación, únicamente de los años 2006 y 2021, y en la **Figura 4** se muestra dicha comparación de manera espacial. Estos resultados reflejan que gran parte de las zonas con vegetación se han mantenido durante los años, que en otras zonas



la vegetación ha estado ganando terreno, sobre todo en la zona costera, y que en otras zonas ha estado disminuyendo levemente, mayormente en el extremo noreste del ACR.

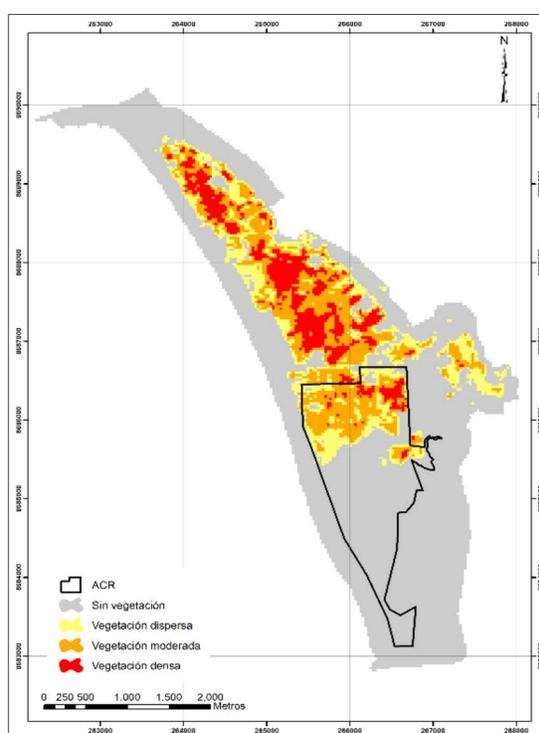
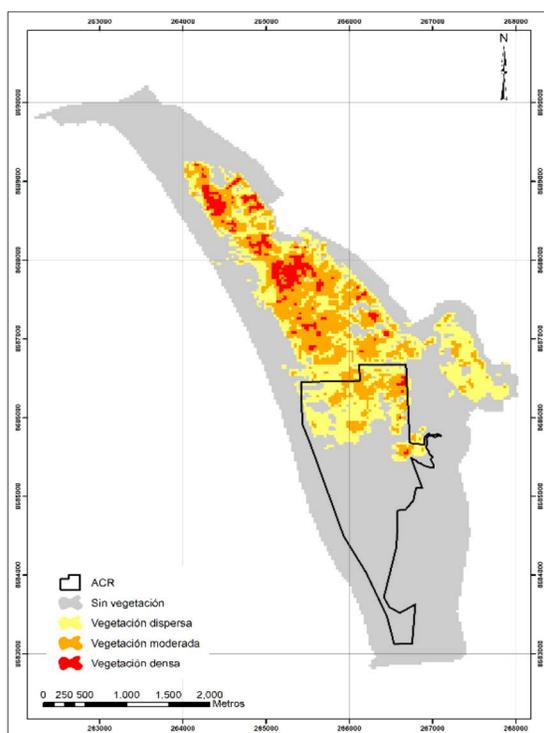
Cuadro 4. Cambios de vegetación en el ACR utilizando NDVI.

Table 4. Vegetation changes in the RCA using NDVI.

Clasificación NDVI	Área (ha)			
	2006	2011	2016	2021
Sin vegetación	186.39	169.38	167.40	163.80
Vegetación dispersa	60.75	42.21	67.77	57.24
Vegetación moderada	27.09	53.46	37.80	46.89
Vegetación densa	1.26	10.44	2.52	7.56

(a)

(b)



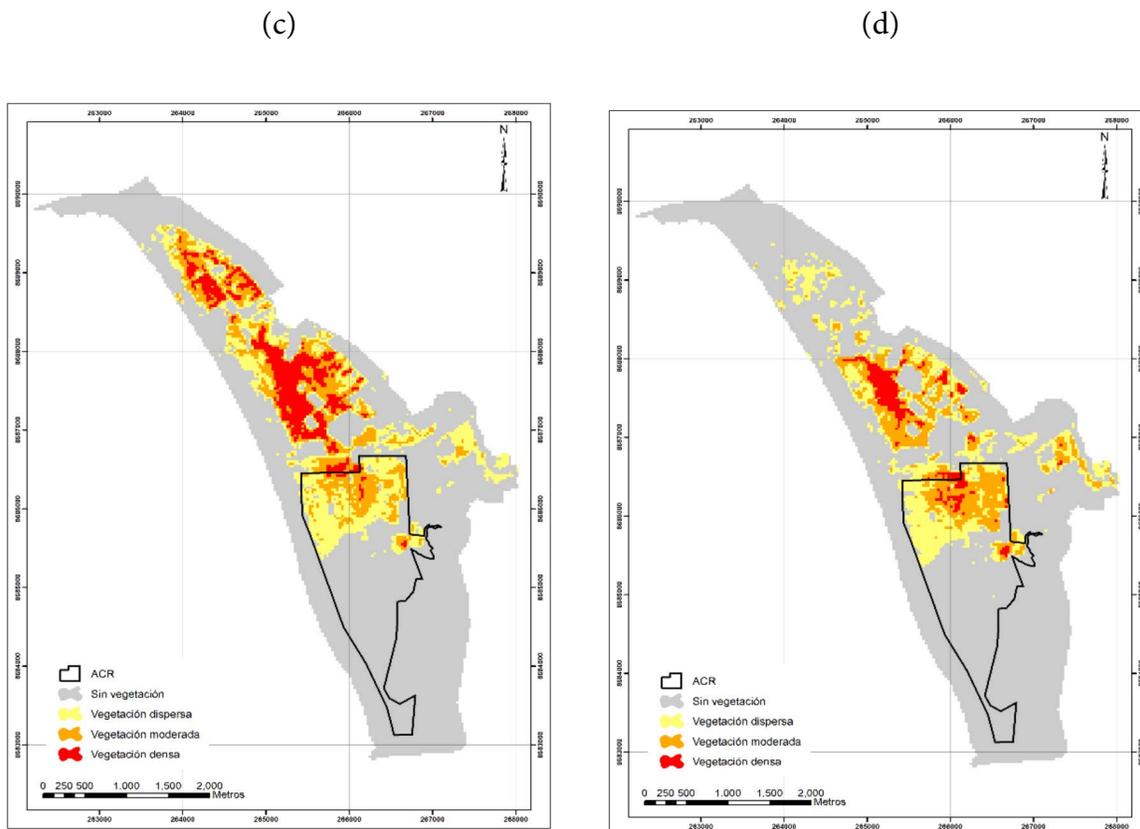


Figura 3. Detección de cambios de vegetación a través del tiempo en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla enmarcado en lo que fue su zona de amortiguamiento mediante la utilización de NDVI: (a) 2006; (b) 2011; (c) 2016; (d) 2021.

Figure 3. Detection of vegetation changes trough time in the Regional Conservation Area Humedales de Ventanilla framed in its buffer zone using NDVI: (a) 2006; (b) 2011; (c) 2016; (d) 2021.

Cuadro 5. Comparación multitemporal de vegetación total en el ACR: 2006 y 2021.

Table 5. Multitemporal comparison of total vegetation in the RCA: 2006 and 2021.

Comparación multitemporal NDVI	Área (ha)
	2006-2021
Ausencia continua	158.76
Presencia continua	84.06
Ganancia	27.63
Pérdida	5.04



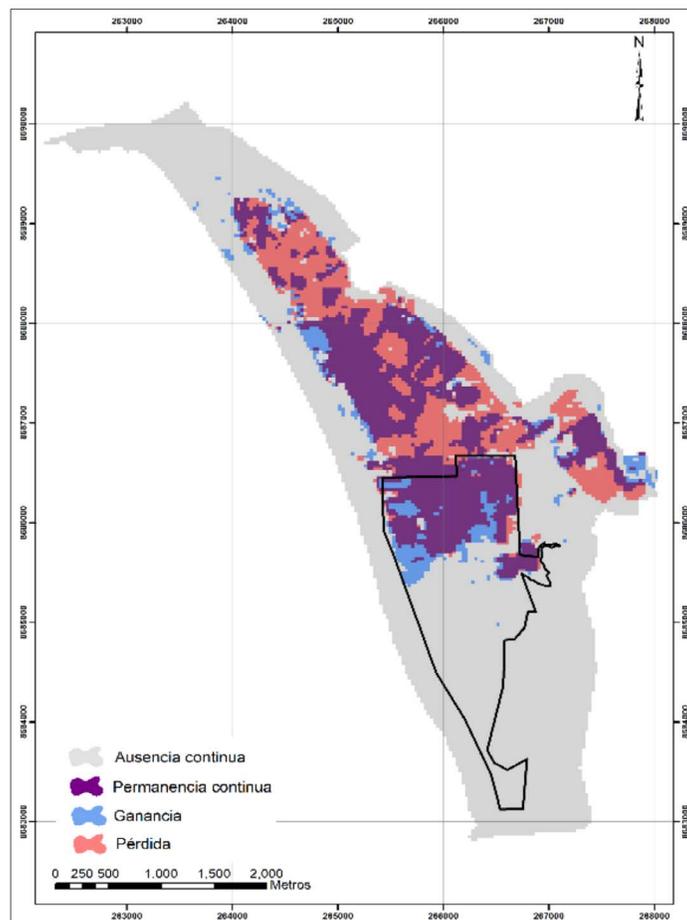


Figura 4. Comparación multitemporal de la vegetación presente en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, únicamente entre los años 2006 y 2021.

Figure 4. Multitemporal comparison of total vegetation in the RCA, only between 2006 and 2021.

3.2 Variación de la saturación del suelo en el ACR

Los cambios en cuanto a la saturación del suelo se encuentran en el **Cuadro 6**, donde podemos observar que hubo una pérdida de suelos saturados que se refleja en los cuatro años analizados, esta se ha acentuado en el último año de estudio, que en comparación con el primero, tiene una pérdida de 27.36 ha. En la **Figura 5** se presenta la detección de cambios de la saturación del suelo de manera espacial en el ACR, dentro de lo que antes era su zona de amortiguamiento. Así mismo, en el **Cuadro 7** se presentan una comparación multitemporal de la saturación del



suelo, únicamente de los años 2006 y 2021, además, la **Figura 6** muestra dicha comparación de manera visual. Estos resultados reflejan que la pérdida de suelos saturados se acentúa en la zona norte del ACR, mientras que los suelos costeros han mantenido su estado de saturación; además, se ha observado que, aunque en general ha habido una pérdida de suelo saturado, en la zona sur del ACR se han generado este tipo de suelos.

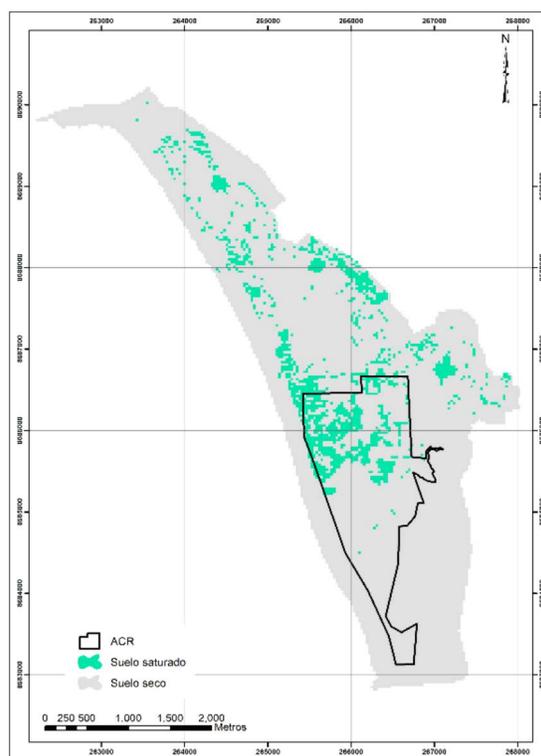
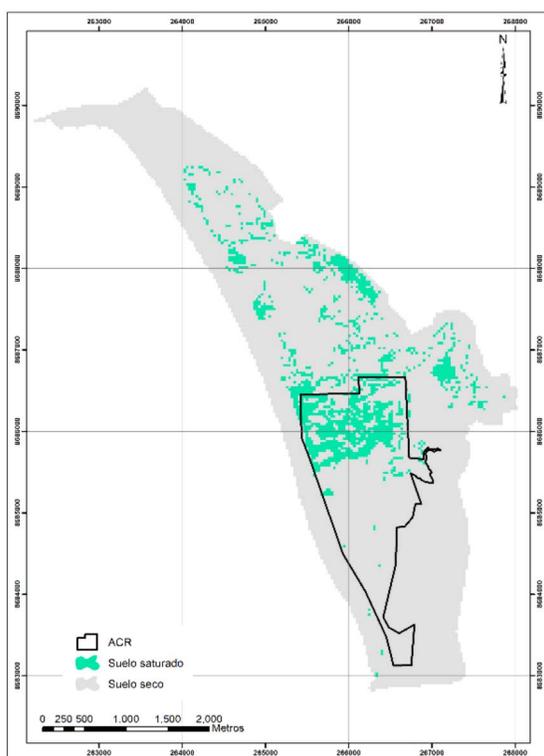
Cuadro 6. Cambios de la saturación del suelo en el ACR utilizando ICEDEX.

Table 6. Soil saturation changes in the RCA using ICEDEX.

Clasificación ICEDEX	Área (ha)			
	2006	2011	2016	2021
Suelo saturado	67.23	57.96	50.94	39.87
Suelo seco	208.26	217.53	224.55	235.62

(a)

(b)



(c)

(d)

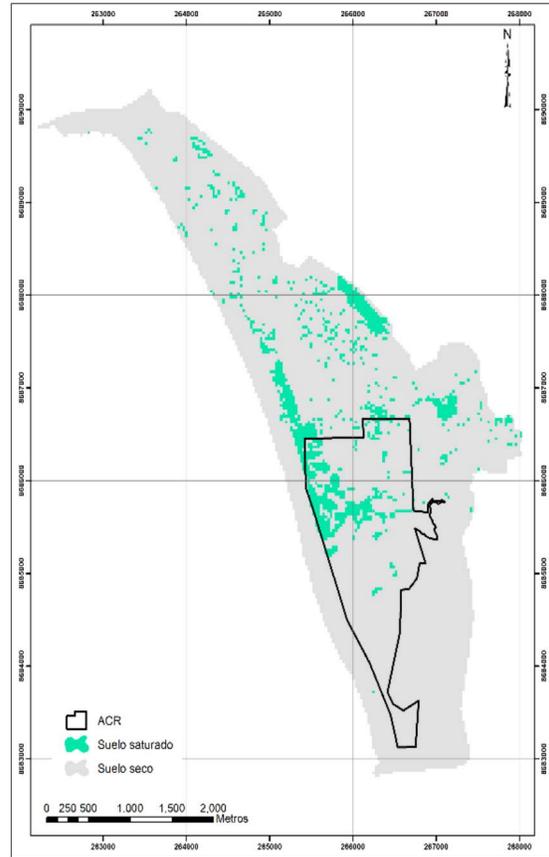
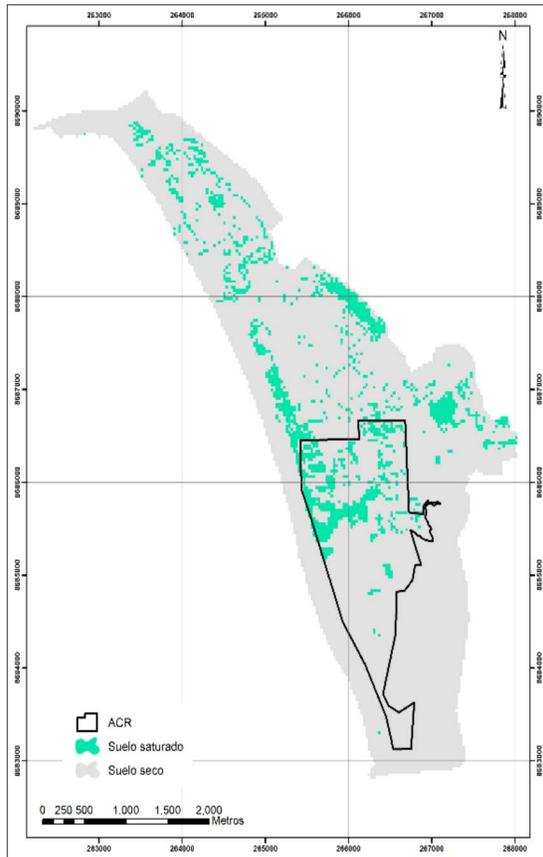


Figura 5. Detección de cambios de saturación del suelo a través del tiempo en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla enmarcado en lo que fue su zona de amortiguamiento mediante la utilización de NDVI: (a) 2006; (b) 2011; (c) 2016; (d) 2021.

Figure 5. Detection of changes in soil saturation trough time in the Regional Conservation Area Humedales de Ventanilla framed in its buffer zone using NDVI: (a) 2006; (b) 2011; (c) 2016; (d) 2021.



Cuadro 7. Detección de cambios de saturación del suelo en el ACR entre el año 2006 y 2021.
Table 7. Soil saturation changes detection in the RCA between 2006 and 2021.

Comparación multitemporal ICEDEX	Área (ha)
	2006-2021
Ausencia continua	189.63
Presencia continua	21.24
Ganancia	18.63
Pérdida	45.99

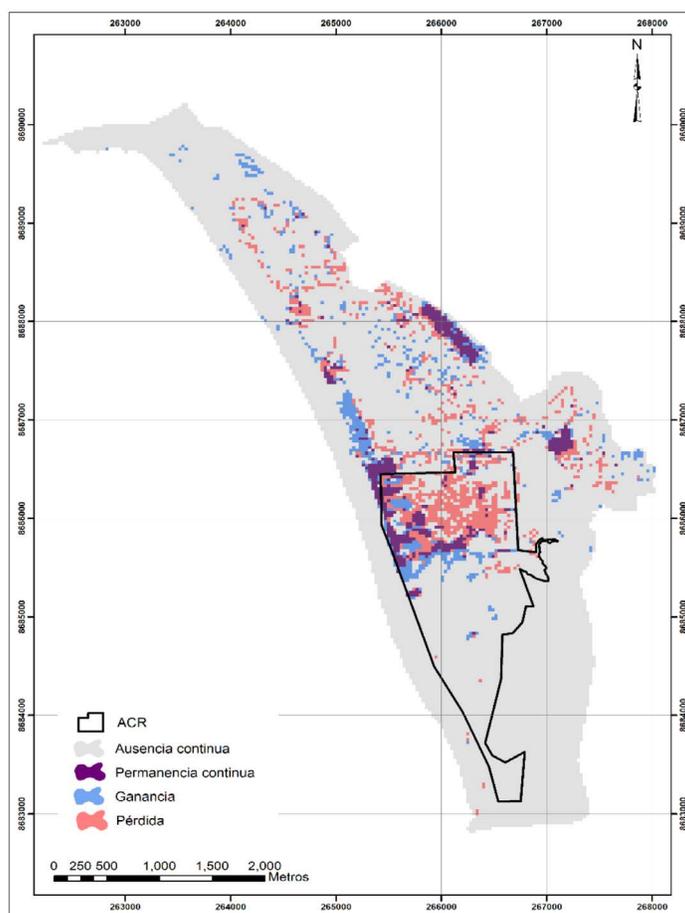


Figura 6. Comparación multitemporal de la saturación del suelo presente en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, únicamente entre los años 2006 y 2021.

Figure 6. Multitemporal comparison of soil saturation in the Humedales de Ventanilla Regional Conservation Area, only between 2006 and 2021.



4. Discusión

La normativa peruana y los compromisos internacionales sobre los que se basa la creación del ACR establecen una serie de obligaciones para asegurar su conservación. Dentro de los compromisos están: la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional que establece en sus principios la conservación de tales ecosistemas, que debe asegurarse en armonía con políticas nacionales con una acción internacional coordinada (Aponte Ubillus, 2017); el artículo 68 de la Constitución Política del Perú que establece como obligación del Estado promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas; la Ley General del Ambiente que, en su artículo 99, reconoce la importancia de los humedales y de las especies que de estos dependen, además de declarar que el Estado debe adoptar medidas especiales para la conservación de estos ecosistemas; la Ley de Áreas Naturales Protegidas que regula tales áreas (entre ellas las de conservación regional); y el Decreto Supremo No074-2006-AG que establece el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla. Por ello, para los fines de la presente investigación se tomó como aspectos a evaluar la conservación de la vegetación y la saturación del suelo del ACR, dentro de lo que fue su zona de amortiguamiento, mediante los índices NDVI e ICEDEX, respectivamente.

Los resultados referentes a los suelos saturados en el ACR muestran que las pérdidas de hectáreas son mayores a las ganancias de estas (Cuadro 7 y Figura 6), con valores de 45.99 y 18.63 ha, respectivamente. Normalmente, esto significaría una disminución de la vegetación dependiente de estos suelos; sin embargo, como se detalla en los resultados, este no ha sido el caso, ya que se observa una tendencia al aumento de vegetación (Cuadro 4 y Figura 3) y una ganancia mayor que la pérdida entre los años 2016 al 2021 (Cuadro 5 y Figura 4), con valores de 27.63 y 5.04 ha, respectivamente. Tales hallazgos podrían ser explicados por el proceso de eutrofización, como es el caso del humedal costero peruano Santa Rosa que, según Urbina Rojas y Rivera Cáceda (2020), presenta aumentos en la cobertura y área de vegetación (+12.36 %), que fueron evaluados con el índice NDVI, como consecuencia de procesos de eutrofización. Así mismo, esto coincide con lo hallado por Moschella Miloslavich (2012), quien analizó la variación de la superficie de los humedales de Ventanilla entre 1961 y 2009 y determinó un incremento de 13 a 468 ha de vegetación, lo que explica que se da debido a la existencia de una relación directa entre la expansión de las áreas urbana y la superficie de los humedales, ya que dicha expansión genera procesos de eutrofización por infiltraciones de aguas residuales urbanas en los humedales. A su vez, esto concuerda con lo hallado por Rodríguez *et al.* (2017), que realizaron una evaluación microbiológica a un cuerpo de agua dentro del ACR y evidenciaron alteraciones de este por actividades humanas, puesto que encontraron altos valores de coliformes totales que evidencian la existencia de una fuente rica de nutrientes relacionada a los canales y desagües que llegan a dicho cuerpo de agua.

Del mismo modo, según Villagra Dill'erva (2017), los humedales de Ventanilla se encuentran impactados por la expansión urbana que ocasiona la destrucción de un sector del ecosistema, tal expansión se puede evidenciar en la ahora inexistente zona de amortiguamiento del



ACR, y la pérdida de cuerpos de agua, que se ha comprobado en la presente investigación mediante el ICEDEX (**Cuadro 7**). Este escenario no solo se da en el Perú, sino que se presenta en otros países de América del Sur, pues de acuerdo con *Días et al. (2013)*, los humedales costeros de esta región están altamente amenazados por acciones humanas como la intensa producción agrícola, el desarrollo de infraestructura turística y la expansión de áreas urbanas. Esta situación es preocupante, pues los humedales costeros son considerados zonas frágiles de gran valor ecológico (*Zhao et al., 2016*) y a medida que aumentan las amenazas a estos, los efectos negativos en la productividad y biodiversidad ecosistemas se acentúan (*Thomas et al., 2016*).

5. Conclusiones

Las herramientas de teledetección proporcionaron una manera accesible para la evaluación del ACR. Conforme a lo hallado en la presente investigación, el área de suelos saturados muestra una tendencia a la disminución, de manera concreta, una pérdida de 45.99 ha entre los años 2006 y 2021 frente a una ganancia de solo 18.63 ha, por otro lado, y diferencia de lo que se podría esperar, la vegetación muestra una tendencia al aumento, con una ganancia de vegetación total de 27.63 ha frente a una pérdida de 5.04 ha en el mismo periodo (2006 – 2021). Esto que en el ACR se estarían dando procesos de eutrofización ocasionados por presiones antrópicas, principalmente por la infiltración de aguas residuales, lo que se traduciría en una alteración a la dinámica de este ecosistema y, por ende, en una inadecuada conservación de este.

Estos hallazgos permiten conocer el estado actual del ACR, lo que debe dar paso a investigaciones complementarias que continúen con la evaluación de este espacio, integrando otras variables propias del ecosistema. Además, es importante priorizar una mayor atención sobre la conservación de este tipo de áreas naturales, tomando en cuenta los cambios en su entorno y mejorando el uso que se les da, anteponiendo su preservación y la de su biodiversidad.

6. Ética y conflicto de intereses

Las personas autoras declaran que han cumplido totalmente con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito; que no hay conflictos de intereses de ningún tipo; que todas las fuentes financieras se mencionan completa y claramente en la sección de agradecimientos; y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.



7. Agradecimientos

Los autores expresan un especial agradecimiento al Mg. Jorge Rolando Llanos García por incentivar y motivar la investigación en sus alumnos. Además, se agradece a la Revista y personas revisoras anónimas por sus observaciones y sugerencias que contribuyeron en la mejora de este artículo.

8. Referencias

- Aponte Ubillus, H. A. (2017). *Humedales de la Costa Central del Perú: Un diagnóstico de los humedales Santa Rosa, laguna El Paraíso y Albúfera de Medio Mundo*. CooperAcción.
- Aponte Ubillus, H. A., Ramírez, W., Lértora, G., Vargas, R., Gil, F., Carazas, N., y Liviach, R. (2015). Incendios en los Humedales de la Costa Central del Perú: Una amenaza frecuente. *Científica*, 12(1), 70–81. <https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/cientifica/article/view/166>
- Aponte Ubillus, H. A., & Ramírez, W. (2014). Riqueza florística y estado de conservación del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, Callao, Perú. *The Biologist*, 12(2), 283-295. <https://revistas.unfv.edu.pe/rtb/article/view/356>
- Ariza, A., Garcia, S., Rojas, S., & Ramírez, M. (2014). *Desarrollo de un modelo de corrección de imágenes de satélite para inundaciones: (CAIN -Corrección Atmosférica e Índices de Inundación)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica del IGAC.
- Bustamante, J., Díaz-Delgado, R., & Aragonés, D. (2005). Determinación de las características de masas de aguas someras en las marismas de Doñana mediante teledetección. *Revista de Teledetección*, 24, 107-114. <https://digital.csic.es/handle/10261/60245>
- Carazas, N., Camargo, L., Gil, F. & Zárate, R. (2015). Avifauna del Área de Conservación Regional (ACR) Humedales de Ventanilla, Callao, Perú: Actualización. *Científica*, 12(1), 9-25. <https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/cientifica/article/view/162>
- Chander, G., & Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 41(11), 2674-2677. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1245255/>
- Chander, G., Markham, B., & Helder, D. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893-903. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- Congreso de la República de Perú (1993). *Constitución Política del Perú* [Art. 68]. <https://www.congreso.gob.pe/constitucionyreglamento/>



- Congreso de la República de Perú (2008). *Ley No 26834. Ley de Áreas Naturales Protegidas*. Diario Oficial El Peruano
- Congreso de la República de Perú (2008, 13 de octubre de 2005). *Ley No 28611 Ley General del Ambiente*. Diario Oficial El Peruano
- Cowardin, L. M., Carter, V., Golet, F. C., & LaRoe, E. T. (1979). *Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States*. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service.
- Ministerio de Agricultura de Perú (2006, 20 de diciembre). Decreto Supremo No074-2006-AG. Por el cual se establece el Área de Conservación Regional “Humedales de Ventanilla” en la Provincia Constitucional del Callao. <http://spij.minjus.gob.pe/Normas/textos/201206T.pdf>
- Delpino Aguayo, M., Portillo Sosa, V., & Mora Stanley, C. (2018). *Evaluación de índices espectrales derivados de sensores remotos para la caracterización de ambientes de humedales*. [Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal]. <https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/Anais-Geopantanal/pdfs/p15.pdf>
- Días, J., Cearreta, A., Isla, F., & Michaelovitch, M. (2013). Anthropogenic impacts on Iberoamerican coastal areas: Historical processes, present challenges, and consequences for coastal zone management. *Ocean & Coastal Management*, 77, 80-88. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.07.025>
- Dirección de Desarrollo Estratégico-SERNANP. (2016). *Informe No 1028-2016-SERNANP-DDE*. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP).
- Galán de Mena, A., & Linares Perea, E. (2008). Datos sobre la vegetación de los humedales de América del Sur de las sabanas bolivianas a los llanos del Orinoco (Venezuela). *Acta Botánica Malacitana*, 33, 271-288. <https://doi.org/10.24310/abm.v33i0.6987>
- Gobierno Regional del Callao. (2009). *Plan Maestro 2009-2014 Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla*. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente, Oficina de Áreas Protegidas y Medio Ambiente.
- ITT Visual Information Solutions. (2009). *Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User's Guide*.
- Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Lourival, R., Wittman, F., Kandus, P., Lacerda, L. D., Bozelli, R. L., Esteves, F. A., Nunes da Cunha, C., Maltchik, L., Schöngart, J., Schaeffer-Novelli, Y., & Agostinho, A. (2014). Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 24(1), 5-22. <https://doi.org/10.1002/aqc.2386>



- Lora López, J. C. (2016). *Comparativa de sensores espaciales de diferente resolución espectral en la exploración minera* [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Catalunya]. UPC Commons. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/96828>
- Mohamed Eid, A. N., Olatubara, C. O., Ewemoje, T. A., Farouk, H., & El-Hennawy, M. T. (2020). Coastal wetland vegetation features and digital Change Detection Mapping based on remotely sensed imagery: El-Burullus Lake, Egypt. *International Soil and Water Conservation Research*, 8(1), 66-79. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.01.004>
- Moschella Miloslavich, P. (2012). *Variación y protección de humedales costeros frente a procesos de urbanización: Casos Ventanilla y Puerto Viejo* [Tesis para optar el título de Magistra, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/4527>
- Muguruza Minaya, L. C. (2015). *Determinación de la capacidad de carga turística en el ordenamiento de los humedales de Ventanilla* [Tesis de Maestría, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional PIRHUA <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2784>
- Municipalidad Provincial del Callao. (2020, 30 de octubre). *Ordenanza Municipal No 013-2020, la cual aprueba el Cambio de Zonificación de Residencial de Densidad Media (RDM) a Industria Liviana (I2), del predio denominado "Terreno Rústico" Lote B1 P-1 Zona Norte de la Ciudad Satélite*. Diario Oficial El Peruano. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-cambio-de-zonificacion-de-residencial-de-densidad-m-ordenanza-no-013-2020-1916523-1/>
- Pettorelli, N. (2013). *The normalized difference vegetation index*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199693160.001.0001>
- Rodríguez, R., Retamozo-Chavez, R., Aponte, H., & Valdivia, E. (2017). Evaluación microbiológica de un cuerpo de agua del ACR Humedales de Ventanilla (Callao, Perú) y su importancia para la salud pública local. *Ecología Aplicada*, 16(1), 15-21. <https://dx.doi.org/10.21704/rea.v16i1.899>
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2016). *Introducción a la Convención sobre los Humedales*. Secretaría de la Convención de Ramsar.
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas – SERNANP. (2010, 26 de octubre). *Resolución Presidencial No 205-2010-SERNANP, por la cual se aprueba la Directiva para la evaluación de propuestas para el establecimiento de las Áreas de Conservación Regional*. Diario Oficial El Peruano.
- Thomas, S., Schuerch, M, Nicholls, R, Hinkel, J, Lincke, D., Vafeidis, A., Reef, R., McFadden, L., & Brown, S. (2016). Global coastal wetland change under sea-level rise and related stresses: the DIVA wetland change model. *Global and Planetary Change*, 139, 15-30. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.12.018>





- Urbina Rojas, D., & Rivera Cáceda, F. V. (2020). *¿Se están reduciendo los humedales de la costa de Lima? Un estudio basado en teledetección y SIG* [Tesis para optar por el grado de bachiller, Universidad Científica del Sur]. Repositorio Académico Universidad Científica del Sur. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1378>
- Villagra Dill'erva, M. (2017). Centro de Investigación y Educación Ambiental en los humedales de Ventanilla - Callao. [Tesis de Bachillerato, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. <http://hdl.handle.net/10757/621783>
- Zhao, Q. Q., Bai, J. H., Huang, L. B., Gu, B. H., Lu, Q. Q. & Gao, Z. Q. (2016). A review of methodologies and success indicators for coastal wetland restoration. *Ecological Indicators*, 60, 442-452. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.07.003>

