

Evaluación de las unidades de vegetación en Los Pantanos De Villa (Lima, Perú) mediante sistemas de información geográfica y teledetección

Evaluation of the vegetation units in Los Pantanos De Villa (Lima, Peru) using geographical information systems and teledetection

Nathalie Flores

Universidad Católica Sedes Sapientiae. Facultad de Ingeniería Ambiental. Lima, PERÚ
<https://orcid.org/0000-0001-9058-0018>

Irene Castro

Universidad Católica Sedes Sapientiae. Facultad de Ingeniería Ambiental. Lima, PERÚ
<https://orcid.org/0000-0003-1625-6513>

Héctor Aponte

Carrera de Biología Marina, Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas-Universidad Científica del Sur.
Lima, PERÚ
<https://orcid.org/0000-0001-5249-9534>
elizabeth18051997@gmail.com

Resumen

Los humedales costeros del Perú son importantes por los múltiples bienes y servicios que proveen a las poblaciones aledañas. Para protegerlos, es importante hacer un seguimiento de sus áreas y de los cambios que ocurren en las mismas. Los Pantanos de Villa es un humedal Ramsar de la ciudad de Lima, y que, al igual que muchos humedales costeros, en los últimos años ha pasado por múltiples cambios naturales y antropogénicos. En el presente trabajo se utilizaron imágenes de satélite de alta y mediana resolución (como las imágenes WorldView 3 con fecha de mayo del 2018 y CBERS2, 2B y 4 de los años 2004, 2008 y 2018) con el objetivo de definir, identificar y caracterizar las unidades de vegetación y analizar los cambios en la cobertura vegetal en el área utilizando el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada). La metodología incluyó la obtención y adquisición de imágenes de satélite, información cartográfica básica y temática. Estas, fueron sometidas a corrección geométrica, técnicas de realce y algoritmos de clasificación y obtención del NDVI; todo ello haciendo uso del software ARGIS y realizando múltiples salidas de campo. Como resultado, se identificaron 8 unidades de vegetación que corresponden al gramadal, totoral, área intervenida-cuerpos de agua, juncal, corta-corta, acuáticas, carrizal, y salicornial. El resultado obtenido del análisis del NDVI nos indica que el área sin vegetación pasó de ocupar 1.96 ha en el año 2004 a ocupar 38.75ha en el 2018; la clase vegetación mixta pasó de 100,24 ha en el 2004 a 148,344 ha en el 2018; clase vegetación densa pasó de 130,146 ha a 40,285 ha en el 2018. El aumento del área sin vegetación es una muestra de cómo el cambio de uso de suelo, debido a diferentes actividades humanas, puede afectar un humedal costero.

Palabras clave: NDVI, humedal, SIG, Ramsar, uso de suelo

Abstract

Coastal wetlands of Peru are important because of the multiple services they provide to surrounding towns. To protect these ecosystems, it is important to monitor their areas and the changes that occurred in them. Los Pantanos de Villa is a Ramsar wetland in the city of Lima, and, like many coastal wetlands in the region, has undergone multiple natural and anthropogenic changes. In this work, high and medium resolution satellite images were used (such as WorldView 3 images dated May 2018 and CBERS2, 2B and 4 from 2004, 2008 and 2018) with the objective of defining, identifying and characterizing vegetation units and the analysis of changes in vegetation cover in the area using the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). The methodology included obtaining and acquiring satellite images, basic and thematic cartographic information. These were sometimes a geometric correction, reality techniques and algorithms of classification and obtaining of the NDVI; all this using the ARGIS software and making multiple field outputs. As a result, 8 vegetation units were identified that correspond to the gramadal, totoral, intervened area-bodies of water, juncal, short-cut, aquatic, carrizal, and salicornial. The result obtained from the NDVI analysis indicates that the area without vegetation went from occupying 1.96 ha in 2004 to occupying 38.75ha in 2018; the mixed vegetation class went from 100.24 ha in 2004 to 148,344 ha in 2018; Dense vegetation class went from 130,146 ha to 40,285 ha in 2018. The increase in the area without vegetation is a sign of how the change in land use, due to different human activities, can affect a coastal wetland.

Keywords: GIS, land use, NDVI, Ramsar, wetland

Citación: Flores, N.; I. Castro & H. Aponte. 2020. Evaluación de las unidades de vegetación en Los Pantanos De Villa (Lima, Perú) mediante sistemas de información geográfica y teledetección. *Arnaldoa* 27 (1)303-322 <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.271.27119>

Introducción

Los humedales constituyen uno de los ecosistemas más valiosos del planeta; ello, en virtud de los servicios que proveen a la sociedad relacionados con la provisión de un recurso hídrico, el mantenimiento de la diversidad biológica y variabilidad ecosistémica, además de su importancia socioeconómica para las poblaciones locales (Aponte, 2017). En el Perú, se cuenta con un importante número de humedales, ubicados en las vertientes del Pacífico, Atlántico y del Titicaca, con un estimado preliminar de 8 millones de hectáreas, de los cuales 13 sitios forman parte de la Convención Ramsar (Decreto Supremo N° 004-2015-MINAM). Todos ellos, proveen de bienes y servicios ecosistémicos a las poblaciones aledañas, permitiendo el desarrollo de actividades económicas y la subsistencia.

El Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSPV), es un humedal reconocido como sitio Ramsar por ser un humedal de importancia internacional para las aves. En el 2006 se categorizó como Refugio de Vida Silvestre mediante el Decreto Supremo N° 055-2006-AG. Este humedal es la única Área Natural Protegida (ANP), que se encuentra en el área metropolitana de Lima y forma parte del Corredor Biológico del Pacífico Sur. Todo ello, es muestra de la importancia de este ecosistema y el especial interés que ha puesto el estado e instituciones nacionales e internacionales por proteger este humedal. Este humedal proporciona también múltiples beneficios ecosistémicos como la captura de CO₂, la provisión de un espacio para actividades turísticas, recreativas y educativas (Aponte *et al.*, 2018; Vargas, 2018; Ampuero, 2018). A pesar de los múltiples esfuerzos por su conservación, el RVSPV presenta conflictos ambientales, físico-territoriales (relacionados con el

mal manejo del territorio y sus recursos paisajísticos), socio-económicos (que se generan por la poca satisfacción de las necesidades de la población y la relación con su entorno), problemática institucional (que genera conflictos directamente vinculados a la gestión de la zona); conflictos socio-culturales (por falta de conciencia, costumbre y cultura, así como, el deshecho de residuos sólidos cercanos a la carretera o la contaminación del recurso hídrico por las aguas servidas) siendo todas ellas son amenazas constantes para el humedal (Aponte *et al.*, 2018; Lértora 2015; Ramírez & Cano 2010).

Una forma de poder entender la evolución de la cobertura del suelo en las áreas protegidas es haciendo un seguimiento de su vegetación; para ello, es muy útil realizar la identificación de la reflectancia espectral de la vegetación, el cartografiado y su distribución utilizando Teledetección. Esto se complementa con el uso de índices de vegetación y sistemas de información geográfica. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) permite estimar y evaluar el estado de la vegetación en base a la medición de la radiación que las plantas emiten o reflejan; altos valores de índices de vegetación identifican píxeles de vegetación saludables que sirve de ayuda en el monitoreo de la vegetación. Estos índices son medidas cuantitativas que divide en píxeles entre el nivel digital almacenado en dos o más bandas de la misma imagen y se emplean para mejorar la discriminación entre suelos y vegetaciones, además para reducir el efecto del relieve (pendiente y orientación) en la caracterización espectral de una imagen (Chuvieco, 1995). El cálculo del NDVI implica el uso de una fórmula con dos bandas, el Infrarrojo Cercano (NIR) y el rojo (RED) como lo muestra Díaz (2015) en la siguiente ecuación:

$$\text{NDVI} = (\varphi\text{NIR} - \varphi\text{RED}) / (\varphi\text{NIR} + \varphi\text{RED})$$

Los valores de este índice fluctúan entre -1 y +1, cuanto más alto sea el valor de este índice, las condiciones de vigor vegetal son mejores.

El uso del NDVI en humedales costeros como el RVSPV nos permite evaluar dichas condiciones en la vegetación del ecosistema evaluado. El RVSPV cuenta con numerosos estudios; sin embargo, pocas son las evaluaciones detalladas que caracterizan las unidades de vegetación del área. Estos datos son importantes porque permiten evaluar los cambios temporales permitiendo una mejor gestión del recurso examinado (Beltrán, 2017) siendo en este caso la vegetación y la cobertura del humedal. En esta investigación se utilizaron imágenes de satélite de alta y mediana resolución como las imágenes WorldView 3 con fecha de mayo del 2018 y CBERS2, 2B y 4 de los años 2004, 2008 y 2018 con el objetivo de definir, identificar y caracterizar las unidades de vegetación y analizar el NDVI del área. Esto nos permitió a) elaborar el mapa de unidades de vegetación y su superficie, como resultado de la interpretación visual y digital de imágenes satelitales de alta resolución; b) determinar el NDVI, derivados del análisis de las imágenes CBERS-2, 2B y CBERS-4, para estimar el estado de la cobertura vegetal y c) generar información útil para futuros monitoreos de la vegetación en el RVSPV.

Material y métodos

Área de estudio

El RVSPV está ubicado en la zona marino costera del departamento de Lima. Geográficamente, se encuentra entre las coordenadas 12°10' - 12°13' S; 77° 01' - 77°02' W (Pulido & Bermúdez 2018) (Figura 1). Este humedal se caracteriza por sus lagunas,

aguas salobres, vegetación emergente y es un ecosistema que alberga diversidad de especies de aves locales y migratorias este humedal abarca 263 hectáreas (INRENA, 1998). Mediante el D.S. N° 055-2006 se precisa el área y el perímetro del RVSPV, estableciendo que la superficie es de 263,27 ha. La zona de vida que corresponde a Los Pantanos de Villa está clasificada como desierto desecado subtropical (INRENA; 1995), presenta un promedio de precipitación total por año de 44 mm. El RVSPV tiene cuerpos de agua permanente de poca profundidad, a su alrededor crecen asociaciones vegetales como la "totora" (*Typha dominguensis*), "junco" (*Schoenoplectus americanus*) y "hierba" (*Paspalum vaginatum*). También, existe una gran extensión de gramadal cubierto por "grama salada" (*Distichlis spicata*) y un área donde domina la vegetación arbustiva (Aponte et al. 2018). MINAG (1996) señala que la temperatura media anual es de 18.6 °C, con una humedad relativa entre el 85% y 99 %. Las lagunas y espejos de agua varían en número y tamaño, de acuerdo a las fluctuaciones en el nivel de la napa freática, así como de los caudales de los canales que proveen agua a estas lagunas (SERNANP, 2016). El RVSPV presenta cuatro lagunas principales, como la laguna Mayor, laguna Sur, laguna Marvilla y la laguna Génesis.

Metodología

La metodología empleada estuvo basada en la aplicación de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, utilizando **técnicas de análisis digital y visual en las imágenes satelitales. Mediante la información obtenida del área en estudio, se discriminó los diferentes tipos de unidades de vegetación por las respuestas espectrales, además se estimó el índice de vegetación.** Para ello, se tuvieron en cuenta los siguientes pasos:

Obtención y adquisición de imágenes de satélite, información cartográfica básica y temática

Se obtuvieron imágenes de satélite considerando la nubosidad de cada una de las imágenes satelitales y la fecha de toma de cada una de las imágenes satelitales (época de verano). Se adquirieron las siguientes imágenes satelitales:

Imagen de satélite CBERS-2 y 2B y CBERS-4: Las imágenes de estos satélites son gratuitas. Se adquirió las imágenes CBERS en formato tif. según lo indicado en la Tabla 1.

Imagen de satélite Worldview-3: Imagen de alta resolución, que se obtuvo de manera gratuita y en formato ECW (enhanced compression wavelet) mediante el SASPLANET (Tabla 2). Esta imagen es proporcionada por servicios de mapas e imágenes satélite como DigitalGlobe y Google Maps.

Análisis e interpretación digital

El mapa base fue elaborado mediante la interpretación visual presentes en el área de estudio. La digitalización se realizó a escala 1:400, escala base para el desarrollo de la evaluación de la vegetación en el área de estudio. Para la elaboración de mapa base se utilizó el software ARCGIS 10.5, donde se realizó la composición de los mosaicos de la imagen Worldview-3. Posteriormente, se procedió al recorte del mosaico y se delimitó el área de estudio tomando como referencia el perímetro del RVSPV delimitado por los 66 hitos ubicados en sistema de coordenadas PSAD 56 (Resolución Ministerial N° 0909, 2000), lo cual fue re proyectado en el sistema de coordenada UTM del Datum WGS84 de la zona 18S. Para validar el perímetro también se utilizó las bases de datos del geoservidor del área natural protegida. En

campo se utilizó el mapa base para hacer el reconocimiento y cartografiado de las diferentes unidades de vegetación que conforman el RVSPV y con la finalidad de georreferenciar las mismas, que fue de utilidad para validar el mapa de las unidades de vegetación del año 2018.

Posteriormente, se realizó la georreferenciación del mosaico Worldview-3, de forma que disminuyan los errores generados durante de la obtención, mediante el uso de los puntos de control que enmarca la Resolución Ministerial N° 0909-2000-AG en DATUM PSAD 56 (66 hitos) convertidos al Sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), y el Datum WGS 1984 de la zona 18S, de acuerdo al Instituto Geográfico Nacional, ente rector en cartografía peruano, de esta manera se minimizaron las diferencias de posición relativas, permitiendo así su comparación píxel a píxel.

En seguida se realizó una clasificación no supervisada (isocluster). En este análisis, se utilizó el método sugerido por Chuvieco (1995), donde señala que los niveles digitales (ND) de la imagen forman una serie de agrupaciones o conglomerados (cluster). Estos equivalen a píxeles que definen clases temáticas que en muchas veces da resultados de clases informacionales. En el proceso de la clasificación no supervisada, se utilizó el algoritmo Iso Cluster Unsupervised Classification, y se obtuvieron 11 clusters conformados por píxeles con comportamiento espectral homogéneo, a partir de estos fue posible extraer las clases temáticas de la zona de estudio sobre las cuales se obtuvieron las firmas espectrales correspondientes, asimismo se generó el mapa final.

A continuación, se realizó una clasificación supervisada, la cual se basa en

la identificación de la zona donde se conoce con certeza el tipo de vegetación o unidad existente. Se utilizó el método de máxima verosimilitud para identificar las diferentes unidades de vegetación. Los datos obtenidos en campo mediante el equipo GPS se ingresaron al software Excel. Seguidamente se procesó en el software ARCGIS 10.5 cuyos datos fueron identificados en la imagen. Dado que los pixeles de una misma cobertura son diferentes, se hizo la identificación de la variabilidad de estos (distancia euclidiana), esto permite determinar la media y desviación típica y por consiguiente aplicar el método de clasificación de máxima verosimilitud. En la clasificación realizada sobre la imagen, se analizó cada una de las unidades de vegetación. Luego, se determinó el tipo de vegetación diferenciándolos por los colores y tonalidades, basándose en la información previa del área de estudio. Las unidades de vegetación identificadas por la clasificación supervisada, fueron agrupadas en 8 unidades de vegetación y 22 subunidades de vegetación. Por último, se utilizó el algoritmo Maximum Likelihood Classification en el software ARCGIS 10.5 para generar el mapa final. La elaboración del mapa final de las unidades de vegetación corresponde al sistema de coordenada proyectada UTM del datum WGS84 de la zona 18S, comprende a una escala de 1:4500, con su respectiva leyenda de cada unidad.

Con el mapa terminado se obtuvo el NDVI de los diversos tipos de vegetación del RVSPV. Las bandas 3 (rojo) y 4 (infrarrojo cercano) de la imagen Cbers-2 (24/02/2004) y 2B (30/03/2008), las bandas 7 (rojo) y 8 (infrarrojo cercano) que corresponden a la imagen Cbers-4 (16/05/2018), fueron utilizadas para crear el NDVI. Se utilizó el módulo spatial analyst tools, map algebra y raster calculator que nos permitió ingresar

la formula mencionada anteriormente.

Los datos necesarios para esta etapa fueron conseguidos a partir de trabajo de campo, el cual estuvo organizado por varias visitas a la zona de estudio. Los recorridos cubrieron toda el área de estudio y el acceso se realizó sin restricciones para acceder a toda el área. Mediante esta metodología se logró mejorar la información obtenida del análisis digital, debido a las confusiones que presentaban los sectores por contener una alta humedad en suelo y espejos de agua temporales. Se elaboraron las claves de interpretación, considerando las características de las unidades y las subunidades de vegetación. Se tomó en cuenta las características de la imagen (tonalidad, textura y forma/limite). Estos datos sirvieron para corregir la clasificación de cada unidad. Es importante señalar que los cuerpos de agua no han sido analizados en el presente estudio, para no generar confusiones con la vegetación.

Resultados

Se identificaron 8 unidades de vegetación que corresponden al gramadal (84,436 ha; 32,072 %), totoral (74,338 ha; 28,237), área intervenida-cuerpos de agua (66,202 ha; 25,146 %), juncal (30,348 ha; 11,527 %), corta-corta (4,270 ha; 1,622 %), acuática (1,706 ha; 0,648 %), carrizal (1,290 ha; 0,490 %), y salicornial (0,677 ha; 0,257 %). Una descripción detallada de las mismas y de sus 22 subunidades de vegetación se encuentra en las tablas 3 y 4. La figura 2 muestra las unidades de vegetación del RVSPV.

La tabla 5 y la figura 3 muestran el área correspondiente del NDVI de los años 2004, 2008 y 2018. El resultado obtenido del NDVI según el rango -1 a 0 (sin vegetación) pasó de 1,96 ha en el año 2004 a 39,40 ha en el año

2008; para el año 2018 el área calculada es de 38,75ha. El NDVI que corresponde a los rangos de 0 a +0,25 (vegetación mixta) pasó de 100,24 ha en el 2004 a 160,380 ha en el 2008; para el 2018 el área calculada es de 148,344 ha. Finalmente, el NDVI que corresponde al rango de +0,25 a +1 (vegetación densa) pasó de 130,146 ha en el 2004 a 31,652 ha en el 2008; para el año 2018 aumentó a 40,285 ha.

Discusión

Sobre la técnica utilizada

En el presente estudio la aplicación de la clasificación no supervisada generó resultados confusos en la discriminación de las unidades debido al alto contenido de la humedad que se refleja en el mosaico de WordView-3. Autores como Gandía y Meliá (1991) mencionan que esta metodología no siempre proporciona resultados satisfactorios. Igualmente, debido a que el agua generaba distorsión en reflectancia espectral, los resultados de la discriminación de las unidades de vegetación mediante el algoritmo maximum likelihood fueron muy generales (a pesar de que autores como Willington *et al.* (2013) y Vargas-Sanabria & Campos-Vargas (2017) señalan que los mejores resultados se obtienen mediante este método de clasificación supervisada). Es importante mencionar que, en el infrarrojo medio, la respuesta espectral de la vegetación está determinada por su contenido hídrico (Castro, 1999); el agua contenida en la vegetación presenta una alta absorción en las longitudes de onda de 1,4 μm , 1,9 μm y 2,7 μm , esto significa una baja reflectividad por parte de la vegetación en estos valores que se utilizaron en la combinación de bandas de las imágenes utilizadas (infrarrojo, rojo y rojo visible). Por estos motivos, la clasificación supervisada tuvo que reforzarse con trabajo de campo exhaustivo, realizándose seis salidas de

campo para afinar y verificar los resultados de mapa de vegetación, lo que llevo a recorrer el RVSPV íntegramente.

La interpretación visual de la imagen satelital Worldview-3 reforzó los resultados de la clasificación supervisada, ya que esta metodología analiza los aspectos de tonalidad, textura, forma y colores tradicionales presentes en la imagen satelital. Esta aplicación es mucho más precisa ya que requiere de mucho conocimiento de campo y, en este caso, el sensor es el ojo humano. Esta metodología permitió obtener datos de las áreas que ocupa cada unidad resultante y la cuantificación porcentual del área. Chicharro y Martínez (1992) precisa que el análisis visual con muestras de campo es más efectivo para corroborar la información. Todo ello, nos permite confiar en los datos obtenidos y en la interpretación de las imágenes realizada en el presente estudio.

Sobre las unidades de vegetación

Como resultado de la identificación de las unidades de vegetación se discriminaron 08 unidades de vegetación y 22 subunidades. Las denominaciones o términos utilizados para la vegetación son variables en los artículos publicados por González (1993), León y Young (1995), INRENA (1998), Arana & Salinas (2003), La Torre & Aponte (2009), SERNANP (2016), Pulido & Bermúdez (2018) y Aponte *et al.* (2018) quienes también estudian humedales costeros desde diferentes perspectivas. Todos hacen mención a diferentes denominaciones (comunidad, formación o hábitat) para los mismos tipos de vegetación. En el estudio realizado por Castro *et al.* (2017) existe una similitud en la denominación unidad de vegetación, aplicada en este caso a un humedal similar (Albufera de Medio Mundo). En el presente trabajo, preferimos mantener la terminología

de unidad de vegetación, con la finalidad de no contradecir los trabajos previos, sino más bien con el objetivo de identificar áreas de vegetación regularmente homogéneas que se caracterizan por la predominancia de una especie o dos. Consideramos que, para el tratamiento y análisis de información geográfica su trato como unidades de vegetación facilita su análisis sin entrar en términos ecológicos que podrían requerir un mayor análisis y rigurosidad.

Los resultados del análisis del NDVI muestran que el área de la clase sin vegetación aumento de 0,559 % a 17,049 % muy probablemente debido a la presión antrópica y el crecimiento urbano y otros impactos que ocurren en los alrededores del área (impactos mencionados como frecuentes por Aponte *et al.*, 2018). El gramadal es la unidad de vegetación con mayor reducción (por ejemplo, en el sector Sur, el gramadal ha disminuido consideradamente, incrementado las áreas ocupadas por la arena donde se encuentra suelo sin vegetación). Otras actividades que afectan a las unidades de vegetación son el aprovechamiento de totora, los incendios (los cuales reducen la cobertura vegetal, y generan la pérdida de hábitats), ingreso de caballos, residuos de construcción (lo cual modifica la estructura del suelo y genera la pérdida de cuerpos de agua y posiblemente contaminación), taponamiento de canales y drenes y vertimiento de aguas no tratadas (SERNANP, 2016). Ejemplo de ello, es la reducción de cuatro unidades de vegetación (juncal, totoral, carrizal y corta-corta) producto del incendio que ocurrió en el año 2014, en Los Pantanos de Villa, habiendo sido el sector Sur centro el área más afectada (Ramírez *et al.*, 2018).

Los estudios multitemporales son necesarios para caracterizar el territorio, especialmente en ambientes fluctuantes

como los humedales, donde se requiere imágenes de satélite de diferentes periodos. Con ello se agiliza la obtención de información territorial de interés para el seguimiento y evolución de humedales y su entorno. El presente estudio, proporciona información consistente para el seguimiento de las unidades de vegetación a diferentes escalas de gestión del territorio, en espacios protegidos en el RVSPV. En esta investigación muestra la utilidad de las imágenes satelitales para analizar cambios en el funcionamiento ecosistémico de áreas protegidas.

Conclusiones

Se identificaron 08 unidades y 22 subunidades de vegetación. El análisis de NDVI mostró una reducción de las áreas vegetadas en un 17% entre el 2008 y el 2018. Estos resultados sientan las bases para futuros monitoreos de la vegetación en el RVSPV.

Agradecimientos

Los autores estamos agradecidos con ProhVilla y SERNANP por las facilidades y permisos brindados para la realización del presente estudio. Asimismo, agradecemos a la Dirección de Investigación de la Universidad Científica del Sur por el apoyo financiero del proyecto "Evaluación y valoración del Stock de carbono en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa" que contó con la autorización RJ N°001-2018-SERNANP-JEF y en cuyo marco se realizó la presente investigación.

Contribución de los autores

Nathalie Flores: obtención y adquisición de información, procesamiento de datos de campo, análisis e interpretación de datos y redacción del manuscrito.

Irene Castro: obtención de información,

procesamiento de datos de campo, análisis e interpretación de datos y redacción del manuscrito.

Héctor Aponte: análisis de datos y redacción del manuscrito.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Literatura citada

- Ampuero, W.** 2018. Estimación del carbono almacenado en la comunidad del junco (*Schoenoplectus americanus*) bajo dos escenarios de crecimiento en el humedal costero Refugio De Vida Silvestre Pantanos De Villa (Lima-Perú). (Tesis para optar por el título de ingeniero ambiental). Universidad Científica del Sur. Lima. Perú.
- Aponte, H.** 2017. Humedales de la costa central del Perú: Un diagnóstico de los Humedales Santa Rosa, laguna El Paraíso y Albufera de Medio Mundo.
- Aponte, H.; D. W. Ramírez & G. Lértora.** 2018. Los Pantanos de Villa un Oasis de vida en Lima Metropolitana. Universidad Científica del Sur.
- Arana, C. & L. Salinas.** 2003. Flora vascular de los humedales de Chimbote, Perú. *Revista Peruana de Biología* 10(2), 221-224. DOI: <https://doi.org/10.15381/rpb.v10i2.2508>
- Beltrán, D. H.** 2017. Aplicación de Índices de Vegetación para evaluar procesos de restauración ecológica en el Parque Forestal Embalse del Neusa. (Tesis de grado). Universidad Militar Nueva Granada, Colombia.
- Chuvienco, E.** 1995. Fundamentos de teledetección espacial. 2da edición. Ediciones RIALP, S.A. Madrid.
- Castro, M. I.; C. W. Mendoza & M. Suarez.** 2017. Evaluación de las unidades de vegetación, mediante imágenes Wordlview3, en el Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo, Huaura, Lima – Perú.
- Castro, R. R.** 1999. Proyecto regional: Información sobre tierras agrícolas y aguas para un desarrollo agrícola sostenible. Proyecto: GCP/RLA/126/JPN Información sobre Tierras Agrícolas y Aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible. Sistema para el Seguimiento y Análisis de Tierras mediante Teledetección. Bases teóricas. TELESAT. Disponible en http://biblioteca.inia.cl/medios/transferencia/taller-satelital/bsesteoricasp.remota_rcastro.pdf
- Chicharro, E. & V. J. Martínez.** 1992. El análisis visual de imágenes espaciales en la enseñanza de la geografía. *Serie geográfica*. 2, 65-79.
- DigitalGlobe.** 2014. WorldView3 Above+Beyond. <http://worldview3.digitalglobe.com/>
- Gandía, F. S. & M. J. Melia**. 1991. La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: agricultura. Universidad de Valencia.
- Gonzalez, M. O. E.** 1993. Estudio Comparativo de la Diversidad de Aves en Mejía y Punta de Bombón, Humedales Costeros de Arequipa. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Recuperado de http://aplicaciones.cientifica.edu.pe/repositorio/catalogo/_data/20170323172531_66.pdf
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales).** 1998. Plan maestro 1998-2003 Pantanos de Villa Refugio de Vida Silvestre.
- Pulido, C. V. M. & D. L. Bermúdez.** 2018. Estado actual de la conservación de los hábitats de los Pantanos de Villa, Lima, Perú. *Arnaldoa*. 25(2), 679-702.
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI].** 2006. Oficio N°888-2006-AG-SEGMA-AUD, Categorización de la Zona Reservada Los Pantanos de Villa como Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa, Perú, 27 de diciembre de 2006.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA].** 1995. Guía explicativa: mapa ecológico del Perú. pp. 271.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA].** 1998. Plan maestro 1998-2003 Pantanos de Villa Refugio de Vida Silvestre.
- La Torre, M. & H. Aponte.** 2009. Flora vascular y vegetación de los humedales de Puerto Viejo. *Rev. peru. biol.* 16(2), 215 – 217. DOI: <https://doi.org/10.15381/rpb.v16i2.209>
- León, B.; A. Cano & K. R. Young.** 1995. La flora de los Pantanos de Villa, Lima, Perú, Adiciones y Guía para las especies comunes. Publicaciones del Museo de Historia Natural UNMSM (B), 1(38), 1-39. Lima – Perú.
- Lértora, P. G.** 2015. Incendio En El Humedal De Villa: Lecciones Por Aprender. *Revista Científica*. 12(2), 154-162.
- Pulido, C. V. M. & D. L. Bermúdez.** 2018. Estado actual de la conservación de los hábitats de los Pantanos

de Villa, Lima, Perú. *Arnaldoa*. 25(2), 679 – 702.

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

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

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas [SERNANP]. 2016. Plan maestro del Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa 2016-2020. (pp. 73).

Vargas, P. R. H. 2018. Emisión de CO₂ e impacto en el suelo por un incendio en el Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa. (Tesis de grado). Universidad Científica del Sur. Lima. Perú.

Vargas Sanabria, D. & C. Campos Vargas. 2017. Sistema multi-algoritmo para la clasificación de coberturas de la tierra en el bosque seco tropical del Área de observación Guanacaste, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 31(1). 58-69. DOI: 10.18845/trm.v31i1.3497 Recuperado de <http://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n1/0379-3982-tem-31-01-58.pdf>

Willington, E.; M. Nolasco & M. Bocco. 2013. Clasificación supervisada de suelos de uso agrícola en la zona central de Córdoba (Argentina): comparación de distintos algoritmos sobre imágenes Landsat. CAI. Recuperado de <http://42jaiio.sadio.org.ar/proceedings/simposios/Trabajos/CAI/17.pdf>

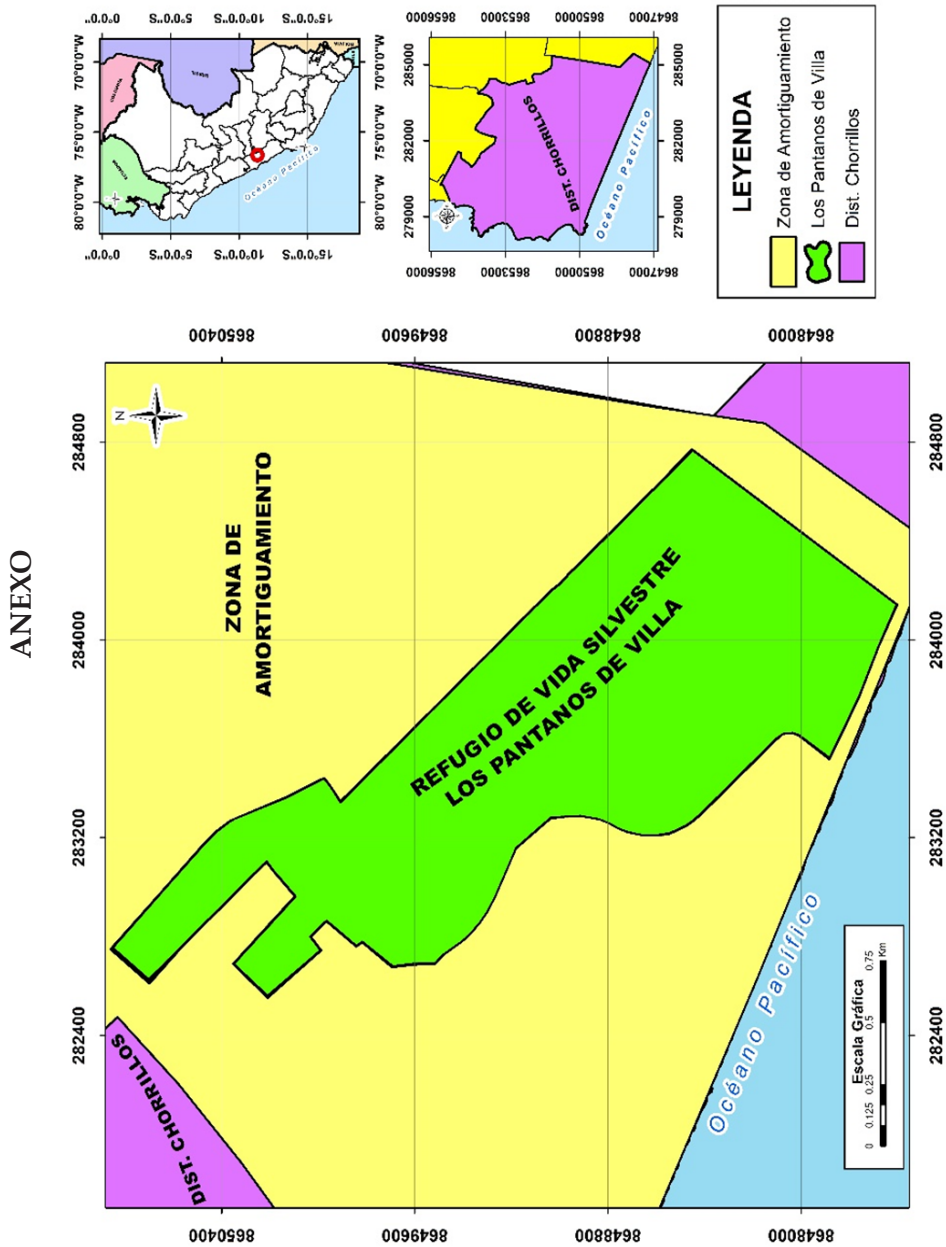


Fig. 1. Ubicación del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa.

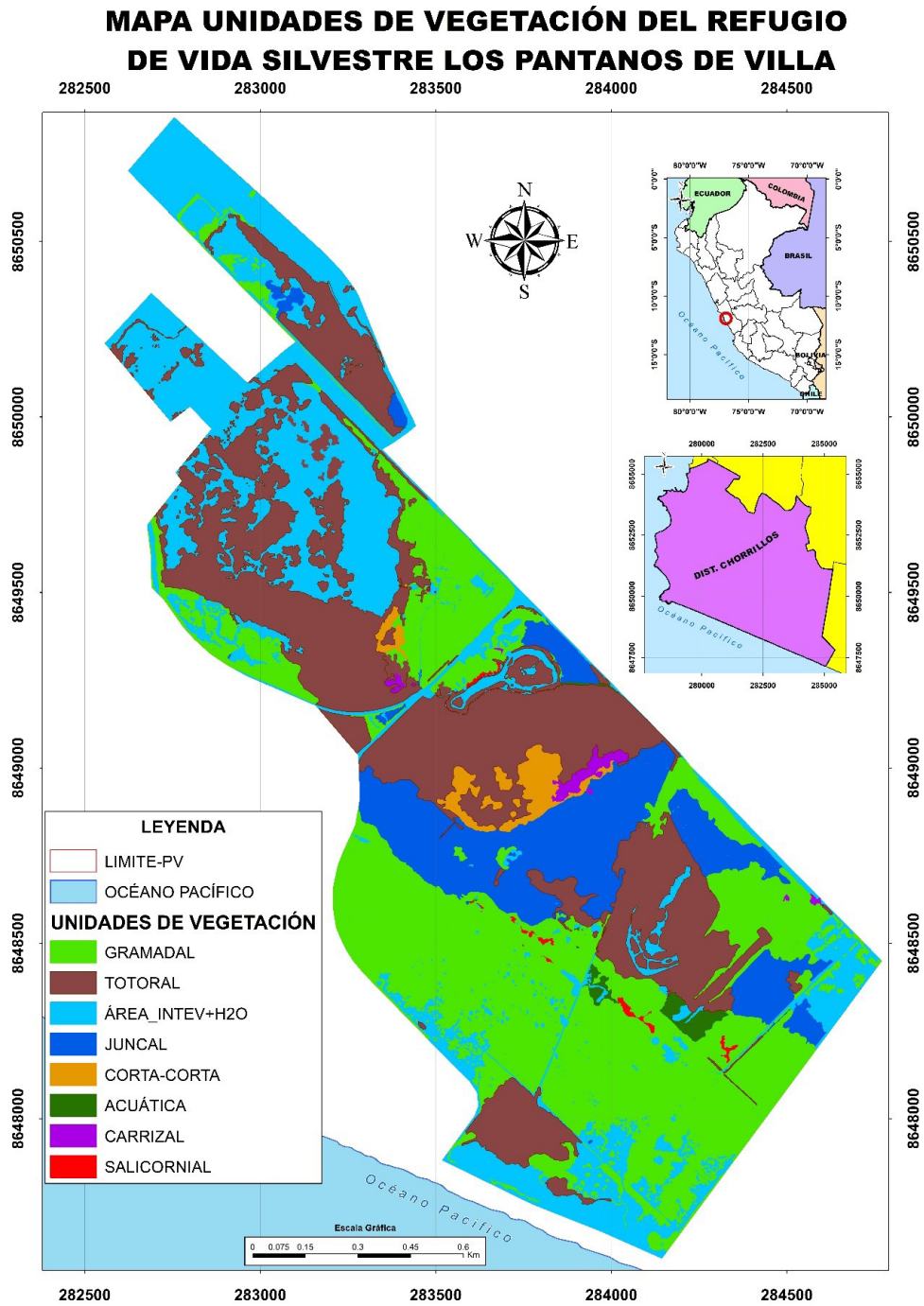


Fig. 2. Unidades de vegetación del RVSPV

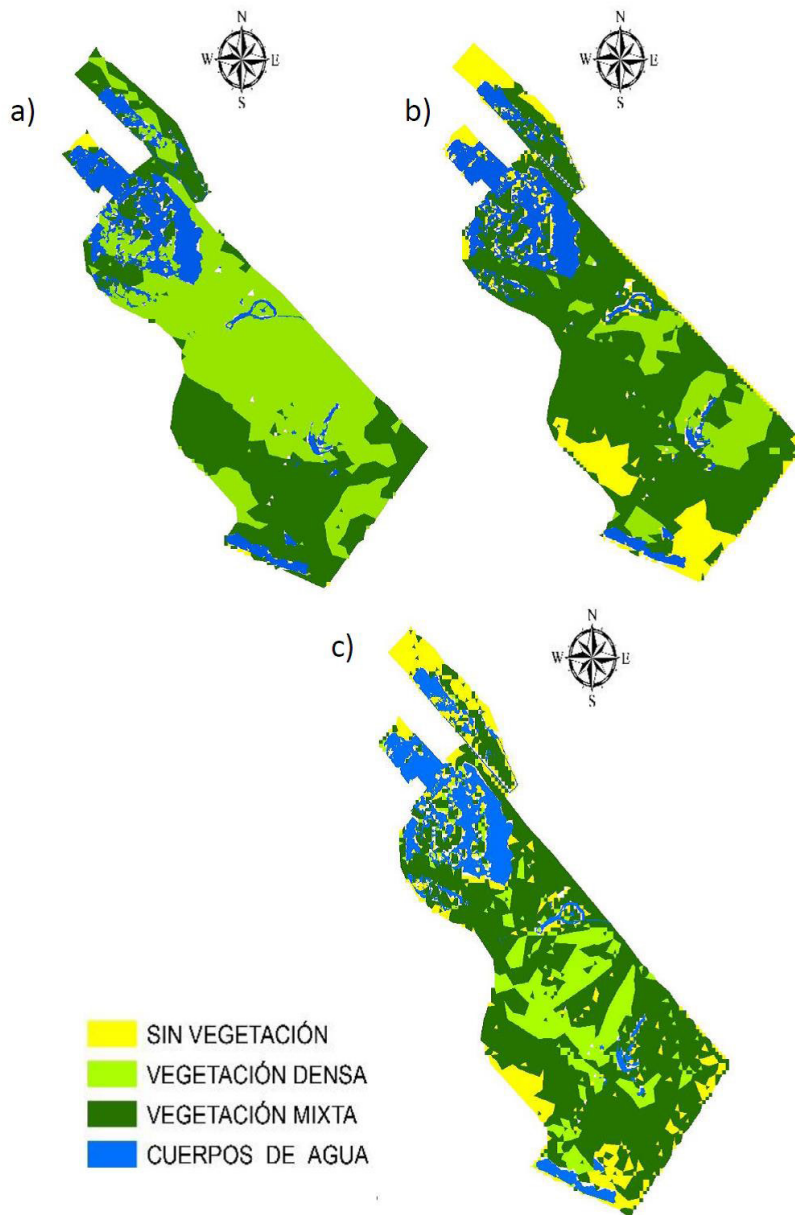


Fig. 3. Mapas del RVSPV mostrando el NDVI en los años a)2004; b)2008 y c) 2018. Escala 1:7500.

Tabla 1 . Características de las imágenes CBERS-2, 2B y 4

Nº	Imágenes CBERS	Cámara	Fecha de adquisición	Bandas espectrales
1	CBERS_2	CCD	24/02/2004	Banda 3: 0.63-0.69 μm (R)
2	CBERS_2B	CCD	30/03/2008	Banda 4: 0.77-0.89 μm (NIR)
3	CBERS_4	MUX	16/05/2018	Banda 7: 0.63-0.69 μm (R) Banda 8: 0.77-0.89 μm (NIR)

Tabla 2. Características de las imágenes Worldview 3

Sensor	Bandas	Rango en el espectro electromagnético	Resolución
Pancromático	Única	450-800 nm	0.31 mts
Multiespectral 8 bandas:	Banda1: costero	400-450 nm	0.60 mts
	Banda2: rojo	630-690 nm	
	Banda3: azul	450-510 nm	
	Banda4: en el borde del rojo	705-745 nm	
	Banda5: verde	510-580 nm	
	Banda6: IR cercano1	770-895 nm	
	Banda7: amarillo	585-625 nm	
	Banda8: IR cercano2	860-1040 nm	
SWIR: 8 bandas	SWIR-1: 1195-1225 nm	SWIR-5: 2145-2185 nm	
	SWIR-2: 1550-1590 nm	SWIR-6: 2185-2225 nm	
	SWIR-3: 1640-1680 nm	SWIR-7: 2235-2285 nm	
	SWIR-4: 1710-1750 nm	SWIR-8: 2295-2365 nm	

Fuente: DigitalGlobe (2014).

Tabla 3. Claves de interpretación del Satélite WordView-3, bandas espectrales 1,2 y 3

UNIDAD DE VEGETACIÓN	SUBUNIDADES	TONALIDAD	TEXTURA	FORMA/LÍMITE	UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN
JUNCAL	Juncal (Juvenil, Maduro)	Verde medio marrón medio gris	Media	Irregular	Se ubica en el sector Sur-Este con mayor extensión. Hojas de <i>Schoenoplectus americanus</i> color verde hasta de 2m. de tamaño.
	Juncal Senescente	Verde medio opaco	Media	Irregular	Se encuentra ubicado en el sector Nor-Oeste, en el intermedio de la carretera, en el borde. Plantas de <i>Schoenoplectus americanus</i> secas o en proceso de descomposición.
	Junquillo	Verde medio	Media	Irregular	Se encontró un área muy pequeña en el Sector Sur en la Zona Silvestre. Plantas de <i>Cyperus laevigatus</i> hasta de 0.40 cm.
CARRIZAL	Carrizo	Verde medio brillante	Medio a rugoso	Irregular	Formada principalmente por <i>Phragmites australis</i> . Se ubica en el Nor-Oeste en una pequeña área de la Zona de Protección Estricta y al Sur-Este se encuentra cercano al borde o límite de la Zona Silvestre.
CORTA-CORTA	Corta-corta	Verde oscuro medio	Medio a rugoso	Irregular	Conformada principalmente por <i>Cladium jamaicense</i> . Se ubica en el área colindante con grama (<i>Distichlis spicata</i>) + junco (<i>Schoenoplectus americanus</i>) senescente en el sector Nor-Este y Sur Este el borde de la zona silvestre.

Tabla 4. Resultados de las unidades y subunidades de vegetación

GRAMADAL	Gramadal	Marrón claro, Verde claro a verde medio brillante	Medio a rugoso	Irregular	Se ubica en áreas extensas mayormente en el sector Sur-Oeste y Sur-Este. Dominada por <i>Distichlis spicata</i> . Otras especies menos frecuentes son <i>Sporobolus virginicus</i> , <i>Sarcocornia nesi</i> y <i>Heliotropium curassavicum</i> .
	Gramma + arena	Gris, verde medio	Medio a rugoso	Irregular	Está ubicado en el sector Sur-Oeste cerca al cerco vivo, está dentro de la Zona de Recuperación. Similar a zona de grama en composición de especies con la dominancia de <i>Distichlis spicata</i> .
	Gramadal + Juncal senescente	Gris, marrón medio más verde medio	Media	Irregular	Se ubica en el Nor-Este (zona de uso turístico y recreación), Norte extremo con un área de 248m ² aprox. (zona de recuperación) y al Sur-Oeste (zona de recuperación). Incluye a <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus americanus</i> dentro de su composición de especies.
	Gramadal + Junco	marrón medio + verde medio	Media	Irregular	Está ubicado en el sector Nor-este, cercano al límite. Incluye a <i>Distichlis spicata</i> y <i>Schoenoplectus americanus</i> dentro de su composición de especies.
TOTAL	Totora enea (<i>Typha domingensis</i>)	Marrón claro a marrón oscuro	Medio a rugoso	Irregular	Está ubicado en zonas extensas del RVSPV.
	Totora disturbada (ocupada por aves)	Marrón Oscuro a Marrón claro	Media	Irregular	Está ubicado en la zona Nor-Este en el interior de la Laguna Mayor, sirve de refugio para las aves.
	Totora balsa (<i>Schoenoplectus californicus</i>)	Marrón Oscuro verdoso	Media	Irregular	Está ubicado en la zona restringida como muestra para diferenciar con la totora enea.
	Totora + Corta-corta	Verde oscuro medio	Media	Irregular	Se encuentra ubicado en el sector Norte en una mínima extensión de área. Asociada a <i>Cladium jamaicense</i> .
SALICORNIAL	Salicornial	Rojo oscuro a Rojo medio	Rugosa	Irregular	Está ubicado en mayor parte en el sector Sur. Predominancia de <i>Sarcocornia nesi</i> .

ACUÁTICAS	<i>Bacopa monnieri</i>	Verde oscuro medio	Media	Irregular	Se encuentra ubicado en el Sur en parte céntrica en pequeñas extensiones de área (Zona de Recuperación y Zona Silvestre) acompañados de <i>Schoenoplectus americanus</i> .
	Sombrerito (<i>Hydrocotyle spp.</i>) y repollito de agua (<i>Pistia stratiotes</i>)	Verde oscuro	Media	Irregular	En pequeñas áreas se encuentra al borde de la Laguna Mayor en la zona de uso turístico y recreacional, también, en el sector Sur-Este en la salida del cuerpo de agua de la laguna Génesis y en el interior de la acequia.
ÁREA INTERVENIDA Y CUERPOS DE AGUA	Árboles introducidos	Negro medio, verde oscuro, verde medio	Media	Irregular	Se encuentra ubicado en sectores dispersas mayormente en el Sur y en los bordes de Los Pantanos de Villa. Compuesto por <i>Eucalyptus sp. Washingtonia robusta</i> y <i>Casuarina sp.</i>
	Instalaciones urbanas y vías (Infraestructuras)	Gris claro y blanco	Medio a Lisa	Regular	Está ubicado en el Nor-Este con mayor área, en el límite con sector urbano (zona de uso especial), también, está en la parte céntrica (zona de uso turístico y recreacional) y en la Zona Sur-Este (zona de recuperación).
	cerco vivo	Verde oscuro a medio	Media	Irregular	Se encuentra ubicado en todo el borde del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa. Compuesto por <i>Miyoporum sp.</i>
	Cuerpos de agua	Azul oscuro, verde oscuro medio, verde claro y blanco.	Rugoso a Lisa	Irregular	Permite identificar con mayor facilidad y se encuentra representado por la Laguna Mayor - Sector Norte-Este y Oeste. Las otras lagunas menores y espejos de agua temporales se encuentran en el Sector Sur-Este y Oeste.

Tabla 4. Resultados de las unidades y subunidades de vegetación

CÓD.	UNIDAD DE VEGETACIÓN	SUB CÓD.	SUB-UNIDADES	ÁREA (ha)	%	ÁREA TOTAL (ha)	%
I	JUNCAL	1	Juncal (Juvenil, Maduro)	30.218	11.478	30.348	11.527
		2	Juncal Senescente	0.118	0.045		
		3	Junquillo	0.012	0.005		
		4	Gramas	70.024	26.598		
II	GRAMADAL	5	Gramas más arena	4.008	1.522	84.436	32.072
		6	Gramas + Junco Senescente	9.252	3.514		
		7	Gramas + Junco	1.152	0.438		
		8	Totora enea (<i>Typha domingensis</i>)	73.058	27.751		
III	TOTAL	9	Totora disturbada (ocupada por aves)	0.840	0.319	74.338	28.237
		10	Totora + corta-corta	0.349	0.133		
		11	Totora balsa (<i>Schoenoplectus californicus</i>)	0.091	0.035		
		12	<i>Bacopa monnieri</i>	1.453	0.552		
IV	ACUÁTICA	13	Repollito de agua	0.029	0.011	1.706	0.648
V	CARRIZAL	14	Sombbrero	0.224	0.085		
V	CARRIZAL	15	Carrizo	1.290	0.490	1.290	0.490
VI	CORTA-CORTA	16	Corta-corta	4.270	1.622	4.270	1.622
VII	SALICORNIAL	17	Salicornial	0.677	0.257	0.677	0.257
VIII	ÁREA INTERVENIDA Y CUERPOS DE AGUA	18	Árboles introducidos	1.755	0.667		
		19	Suelos desnudos y otros	18.775	7.132	66.202	25.146
		20	Infraestructuras y vías	8.712	3.309		
		21	cercos vivos	1.572	0.597		
		22	Cuerpos de agua	35.388	13.442		

Tabla 5. Resultados del NDVI mediante imágenes Cbers.

CLASE	IMAGEN CBERS-2B 24/02/2004		IMAGEN CBERS-2B 30/03/2008		IMAGEN CBERS-4 16/05/2018	
	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)	%	ÁREA (ha)	%
Sin vegetación	1.296	0.559	39.401	17.025	38.748	17.041
Vegetación mixta	100.240	43.266	160.380	69.299	148.344	65.241
Vegetación densa	130.146	56.174	31.652	13.677	40.285	17.717