



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Licenciatura en Recursos Naturales

*Vegetación de la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”:
composición florística y distribución espacial.*

Alumna: Valfosca, María Eugenia

Director: Dr. Rodrigo Freire

Co-Director: Ing. Agr. Néstor Di Leo

Lugar de trabajo: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario

Año: 2020

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	1
RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN.....	4
OBJETIVOS.....	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
REGIÓN DE ESTUDIO	10
SITIO DE ESTUDIO.....	10
TOMA DE DATOS.....	11
Muestreo de vegetación.....	11
Análisis de datos.....	15
Datos de sensores remotos y clasificación digital	16
RESULTADOS	23
LA FLORA DE LA “RESERVA MUNICIPAL LOS TRES CERROS”.....	23
LAS COMUNIDADES VEGETALES DE LA “RESERVA MUNICIPAL LOS TRES CERROS”	26
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN DE LA “RESERVA MUNICIPAL LOS TRES CERROS”	43
DISCUSIÓN.....	50
LA VEGETACIÓN DE LA “RESERVA MUNICIPAL LOS TRES CERROS”	50
LAS COMUNIDADES VEGETALES DE LA “RESERVA MUNICIPAL LOS TRES CERROS”	50
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN DE LA “RESERVA MUNICIPAL LOS TRES CERROS”	53
CONCLUSIÓN.....	57
FINANCIACIÓN	58
BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXO.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del Sistema de Humedales del Delta del Paraná	5
Figura 2. Ubicación de la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”	11
Figura 3. Fotografías del muestreo de vegetación realizado en la Reserva	13
Figura 4. Distribución de los 54 censos de vegetación realizados en el sitio de estudio	14
Figura 5. Distribución de los censos realizados y puntos extra registrados en la Reserva ...	18
Figura 6. Gráfico de barras de la distribución del número de especies de plantas por familia teniendo en cuenta aquellas familias que presentaron más de 4 especies	23
Figura 7. Fotografías de algunas especies vegetales encontradas en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”	24
Figura 8. Fotografías de algunas especies vegetales encontradas en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”	25
Figura 9. Fotografías de algunas de las comunidades vegetales encontradas en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”	30
Figura 10. Fotografías de algunas de las comunidades vegetales encontradas en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”	31
Figura 11. Fotografías de algunas de las comunidades vegetales encontradas en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”	32
Figura 12. Diagramas de cajas de la cobertura total y la cobertura del estrato alto, medio y bajo para cada comunidad.....	39
Figura 13. Diagramas de cajas de la altura en metros del estrato alto, medio y bajo de cada comunidad.....	40
Figura 14. Transecta de vegetación paralela a la pasarela de visitas presente en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”	41
Figura 15. Análisis de escalamiento multidimensional no-métrico basado en el índice de disimilitud de “Bray-Curtis” aplicado a los censos realizados y composición de especies de las comunidades identificadas en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”	42
Figura 16. Mapa de la distribución espacial de las distintas comunidades vegetales y cuerpos de agua presentes en la Reserva	44
Figura 17. Mapa de ambientes de la Reserva sobre imágenes satelitales disponibles en Google Earth para un período seco en contraposición con un período húmedo	48
Figura A1. Mapas resultantes de la clasificación no supervisada.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de censos que se realizaron por comunidad.....	12
Tabla 2. Cantidad de censos y puntos extra que se relacionan con cada clase para las tres clasificaciones no supervisadas realizadas.....	19
Tabla 3. Cantidad de sitios de entrenamiento y polígonos de verdad de campo realizados para cada una de las 13 unidades homogéneas definidas en la clasificación supervisada de la imagen Sentinel-2	21
Tabla 4. Valoración del coeficiente Kappa	22
Tabla 5. Cantidad y porcentaje de censos realizados para las diferentes formaciones identificadas en el sitio de estudio.....	26
Tabla 6. Tabla condensada de constancia de las distintas especies para las comunidades descritas en el sitio de estudio.	27
Tabla 7. Superficie que abarca cada una de las unidades homogéneas definidas en la clasificación supervisada	43
Tabla 8. Matriz de confusión utilizada para analizar la fiabilidad de la clasificación supervisada realizada sobre una imagen Sentinel-2 para la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”	46
Tabla 9. Comparación de las superficies cubiertas por los cuerpos de agua, albardones, playas de arena, suelo desnudo y diferentes comunidades para el año seco y año húmedo	47
Tabla A1. Listado en orden alfabético de las especies registradas en los censos de vegetación realizados en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”	69

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario, por haberme brindado el espacio y la oportunidad de estudiar en esta alta Casa de Estudios.

A mis directores, Rodrigo Freire y Néstor Di Leo, por guiarme durante todo el desarrollo de la tesina, por su paciencia y dedicación. Gracias por darme la generosa oportunidad de aprender de ustedes.

A Ignacio Barberis y José Vesprini, por acompañarme no solo con su capacidad académica sino también con su calidez personal. Ha sido un privilegio poder contar con su guía y ayuda.

A Patricia Torres, por su aporte en los análisis de datos. Fue un placer que me acompañara como persona y profesional.

A Luis Oakley, por la valiosísima colaboración que me ha brindado en la identificación taxonómica de las plantas.

A mi gran amiga Juliana Santi, por ayudarme en el trabajo de campo y vivir juntas esta gran experiencia.

A todos los miembros de la cátedra de Ecología, por todos los momentos que hemos compartido a lo largo de estos años y por sus significativos aportes y sugerencias.

A los revisores cuyos comentarios mejoraron sustancialmente la calidad del manuscrito final.

A mi familia, por estar a mi lado en cada etapa transcurrida, por ser pilar fundamental en mi vida y por motivarme constantemente a alcanzar mis metas.

A Agustín Oviedo Bustos, mi novio, por sus palabras de aliento y su presencia incondicional.

A todos mis amigos, con los cuales construí y compartí esta etapa inolvidable de mi vida.

A todas aquellas personas, que de una u otra manera, han contribuido en el logro de mis objetivos.

Gracias!!

RESUMEN

El Delta del río Paraná constituye un mosaico de humedales caracterizado por una gran variedad de comunidades vegetales asociadas a la gran diversidad de ambientes presentes en la región. Hoy en día, debido a las fuertes amenazas antrópicas que sufren los humedales, numerosas figuras y marcos jurídicos protegen a estos ecosistemas. Tal es el caso de la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”, la cual tiene como finalidad conservar ambientes de humedal de la ecorregión Delta e Islas del Paraná. Con el fin de contribuir a la toma de decisiones relacionadas con el manejo de la Reserva, se realizó una descripción de las comunidades presentes en el área, así como también, de su distribución espacial. A partir de los muestreos realizados, un total de 16 comunidades fueron identificadas caracterizándose las mismas por una estructura y composición específica definida. Entre las mismas, se encontraron: el bosque alto, timbozal de timbó colorado, ceibal, timbozal de timbó blanco, espinillar, sabana de espinillo, pajonal de paja de techar, pajonal mixto, pajonal de carrizo, catayzal de *Polygonum hydropiperoides*, embalsado, camalotal, catayzal de *Polygonum paraguayense*, varillal, juncal y otras acuáticas. Para poder describir la distribución espacial de las comunidades vegetales, se procedió a realizar una clasificación digital de imágenes satelitales, obteniéndose así la primera cartografía de la vegetación de la Reserva. Asimismo, se elaboró un mapa de ambientes de la Reserva en el cual se muestra la variabilidad temporal de las superficies cubiertas por agua para un año húmedo y un año seco. Se aspira a que el presente trabajo constituya una herramienta de gran valor para la conservación y manejo racional y sustentable de los recursos naturales y diversidad biológica que alberga la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”.

Palabras claves: Comunidades, Distribución espacial, Humedales, Reserva Municipal Los Tres Cerros, Río Paraná.

ABSTRACT

The Parana River Delta constitutes a mosaic of wetlands distinguished by a great variety of plant communities associated to the different wetland habitats. Nowadays, due to the serious anthropic menace suffered by wetlands, these ecosystems are protected by numerous laws and legal frameworks. That is the case of “Reserva Municipal Los Tres Cerros”, which aims to preserve wetland habitats in the ecozone, Delta and Paraná Islands. So as to contribute in the decision making process as regards the Reserve management, a description of the communities present in the area, as well as their special location, was made. As a result, a total of sixteen communities were identified, each of them with a specific structure and composition. Among them, we found: “bosque alto”, “timbozal de timbó colorado”, “ceibal”, “timbozal de timbó blanco”, “espinillar”, “sabana de espinillo”, “pajonal de paja de techar”, “pajonal mixto”, “pajonal de carrizo”, “catayzal de *Polygonum hydropiperoides*”, “embalsado”, “camalotal”, “catayzal de *Polygonum paraguayense*”, “varillal”, “juncal” and other acuatic communities. In order to describe the special distribution of the plant communities, a digital classification of satellite images was made, thus obtaining the first cartography of the Reserve vegetation. Finally, a map of the reserve habitats showing the variability of the surfaces covered by water in a wet or dry year was designed. We expect that this thesis constitutes a valuable tool to enhance the conservation and the rational and sustainable management of the natural resources and biological diversity from the “Reserva Municipal Los Tres Cerros”.

Key words: Communities, Paraná River, “Reserva Municipal Los Tres Cerros”, Spatial distribution, Wetlands.

INTRODUCCIÓN

Los humedales son ecosistemas que albergan una gran diversidad de flora y fauna, y se presentan como una interfase entre los acuáticos y los terrestres (Fraser y Keddy, 2005) aunque actualmente, se considera que poseen un funcionamiento y una estructura que les es propia (Kandus *et al.*, 2018). Se entiende por humedal a un ambiente en el cual la presencia temporaria o permanente de agua superficial o subsuperficial causa flujos biogeoquímicos propios y diferentes a los ambientes terrestres y acuáticos. Rasgos distintivos son la presencia de biota adaptada a estas condiciones, comúnmente plantas hidrófitas, y/o suelos hídricos o sustratos con rasgos de hidromorfismo (Benzaquén *et al.*, 2013).

Si bien el agua es un componente fundamental para todos los tipos de ecosistemas, en el caso de los humedales constituye un factor determinante. Tanto la existencia de los humedales, así como también, la diversidad biológica, la productividad y la circulación de nutrientes se ve determinada por la dinámica del agua (Keddy, 2000; Mitsch y Gosselink, 2007).

Los procesos biológicos, geoquímicos y físicos que ocurren en los humedales presentan una gran complejidad, y estos ecosistemas desempeñan importantes roles o funciones que benefician a los seres humanos (Fraser y Keddy, 2005). Las contribuciones de la naturaleza a las personas constituyen aspectos relacionados con la diversidad biológica y los procesos ecológicos y evolutivos de los ecosistemas que influyen en la calidad de vida de la población. La provisión de hábitats para la diversidad biológica y provisión de agua dulce, la regulación de la composición química de la atmósfera y los océanos, la mitigación de las inundaciones y la retención de contaminantes son algunas de las tantas contribuciones de la naturaleza hacia las personas (Díaz *et al.*, 2018).

A nivel mundial, los humedales se emplazan sobre por lo menos el 6% de la superficie terrestre (Junk *et al.*, 2013). El 20% de la superficie del continente sudamericano está ocupado por humedales (Junk, 2013) y en la República Argentina, estos ecosistemas ocupan un 21.5% del territorio continental (Kandus *et al.*, 2018). Dentro de los tipos de humedales de agua dulce que existen en el país se encuentran las llanuras de inundación fluviales en los cuales el anegamiento del suelo se ve influenciado en gran parte por la circulación del río (Neiff y Malvárez, 2004). Incluido dentro de estos grandes humedales se encuentra el río Paraná,

definido como un macrosistema fluvial (Neiff, 1990) que constituye el segundo río más grande de Sudamérica con una extensión geográfica aproximada de 4000 km (Bonetto *et al.*, 1986). En la porción inferior del río Paraná se conforma un delta de aproximadamente 300 km de largo que presenta un mosaico de humedales con atributos biogeográficos y ecológicos exclusivos (Malvárez, 1999).

El Delta del río Paraná comprende la unidad de vegetación bosque y humedal deltaicos (Delta del Paraná) dentro de la Provincia Fitogeográfica Paranaense (Oyarzabal *et al.*, 2018). Asimismo, conforma el sistema de humedales del Delta del Paraná comprendido dentro de los 21 sistemas de paisajes identificados en el Inventario de Humedales del Corredor Fluvial Paraná-Paraguay (Figura 1; Benzaquén *et al.*, 2013).

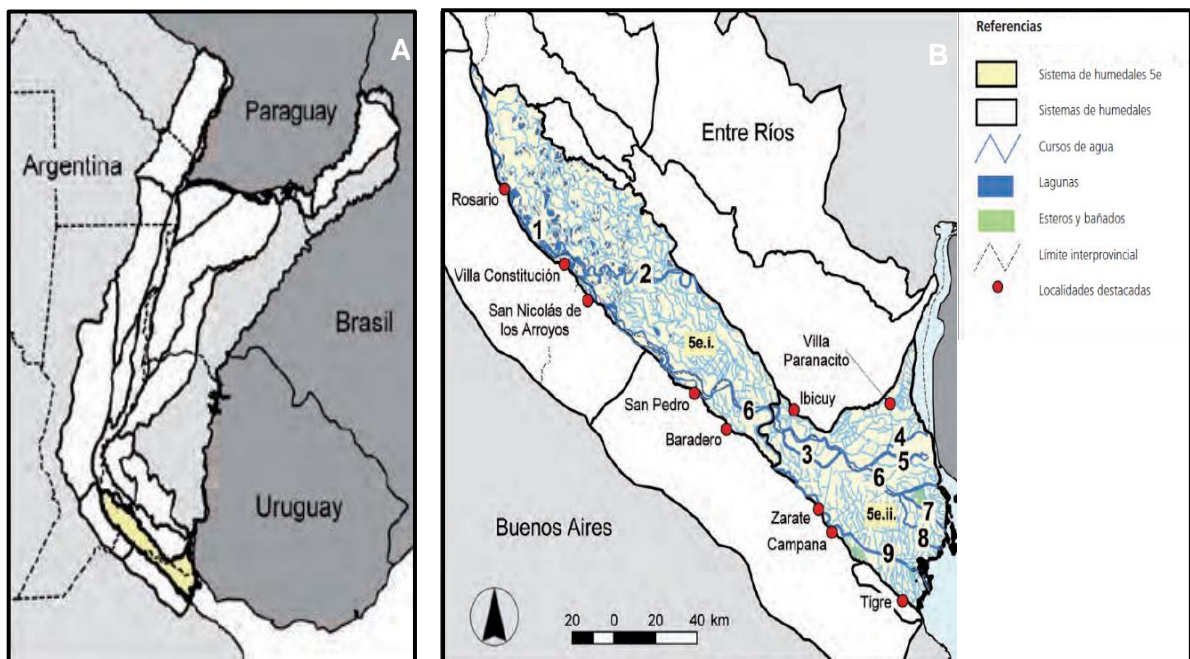


Figura 1. Mapa del Sistema de Humedales del Delta del Paraná, indicando los subsistemas: 5e.i) Antigua llanura de mareas del río Paraná y 5e.ii) Pajonales y bosques de las islas deltaicas. **A-** Mapa de localización del sistema. **B-** Principales humedales: 1) río Paraná, 2) río Paraná Pavón, 3) arroyo Pasaje Talavera, 4) río Gutiérrez, 5) río Paraná Bravo, 6) río Paraná Guazú, 7) río Barca Grande, 8) río Paraná mini y 9) río Paraná de las Palmas (tomado de Benzaquén *et al.*, 2013).

El Delta de Paraná presenta un patrón espacial que refleja un mosaico de condiciones ambientales vinculadas con cambios en el régimen de anegamiento y las características edáficas. Los niveles topográficos y las características

hidrogeomorfológicas que actúan a gran escala parecen ser los filtros ambientales más importantes que determinan la diversidad de plantas y la composición florística (Morandeira y Kandus, 2015). En la región la vegetación presenta una marcada heterogeneidad (Marchetti y Aceñolaza, 2011) y sus comunidades se distribuyen en zonas de vegetación con límites concretos. La composición florística está determinada por la combinación de filtros ambientales bióticos y abióticos en cada lugar, los cuales condicionan el *pool* de especies (Weiher y Keddy, 2001).

Desde el punto de vista fisonómico en el Delta se pueden observar comunidades arbóreas, arbustivas y herbáceas (Franceschi y Lewis, 1979). Sobre los albardones y bancos de arena con diferentes grados de madurez se establecen alisales de *Tessaria integrifolia*, sauzales de *Salix humboldtiana*, timbozales de *Albizia inundata* y de *Enterolobium contortisiliquum*, curupisales de *Sapium haematospermum*, ceibales de *Erythrina crista-galli* y bosque mixto constituido por *Erythrina crista-galli*, *Sapium haematospermum*, *Nectandra angustifolia* y *Salix humboldtiana* (Burkart, 1957; Franceschi y Lewis, 1979; Franceschi *et al.*, 1985). También se puede observar en áreas altas la presencia de espinillares dominados por *Vachellia caven* (Franceschi *et al.*, 1985).

Las comunidades arbustivas suelen presentarse en extensiones reducidas en los albardones o bien en desniveles internos y suelos hidromórficos (Franceschi *et al.*, 1985). En aquellas áreas con suelos anegables que sufren inundaciones anuales, los arbustales más característicos son los varillales de *Solanum glaucophyllum* (Franceschi y Lewis, 1979). Las comunidades herbáceas presentan una mayor heterogeneidad que las arbóreas debido a que se encuentran más condicionadas por la dinámica hidrológica. En términos generales, se pueden apreciar dos tipos de fisonomías: los pajonales que se encuentran sobre suelos relativamente altos con una baja frecuencia de inundación y, rodeando los grandes cuerpos de agua, se encuentra la vegetación herbácea perilacunar caracterizada por diversas comunidades herbáceas que se diferencian entre sí por la tolerancia a distintos grados y frecuencias de inundación (Franceschi y Lewis, 1979).

Dentro de la vegetación herbácea perilacunar se puede distinguir la presencia de camalotales de *Pontederia crassipes* en cuerpos de agua relativamente profundos y lénticos. Por otro lado, tanto en ambientes lóticos como lénticos se pueden observar canutillares formados por gramíneas flotantes arraigadas como *Louisiella*

elephantipes, *Paspalum repens*, *Echinochloa polystachya*, *Oplismenopsis najada*, *Hymenachne amplexicaulis* y *Echinochloa helodes*, predominando frecuentemente *Louisiella elephantipes* (Franceschi y Lewis, 1979; Franceschi *et al.*, 1985).

En cuerpos de agua menos profundos y lénticos hay repollares de *Pistia stratiotes* que pueden llegar a cubrir toda la superficie libre. También, en ambientes calmos y protegidos de las corrientes de aire se presenta un pleustron de *Azolla filiculoides* y *Salvinia* sp. acompañado generalmente por varillales de *Solanum glaucophyllum*. Cuando la saturación de agua en el suelo disminuye aparecen verdolagales de *Ludwigia peploides* de gran diversidad florística (Franceschi y Lewis, 1979).

En cuerpos de agua tanto lóticos como lénticos se encuentran catayzales en los que dominan distintas especies del género *Polygonum*, entre las que se puede mencionar: *Polygonum ferrugineum*, *Polygonum stelligerum*, *Polygonum hydropiperoides*, *Polygonum punctatum*, entre otros. Cada catayzal se encuentra dominado por una única especie y, probablemente se segreguen en el espacio en función de un gradiente topográfico (Franceschi y Lewis, 1979). Junto con los catayzales, los pajonales de *Coleataenia prionitis* constituyen las comunidades que ocupan la mayor parte de los humedales del Delta, constituyendo probablemente el pajonal una de las comunidades más estables (Franceschi *et al.*, 1985).

La Teledetección como disciplina científica-tecnológica proporciona herramientas que permiten obtener información acerca de la superficie de la tierra y los elementos que sobre ella se encuentren, a partir de imágenes provenientes de sensores remotos ubicados en plataformas satelitales (Chuvienco, 1995). El procesamiento digital de estas imágenes ha sido utilizado para estudiar humedales (Kandus *et al.*, 2018), siendo ésta una herramienta que puede ser implementada para discriminar unidades de vegetación y/o mapear su distribución en el territorio (Cingolani *et al.*, 2004; Yichun *et al.*, 2008; Song *et al.*, 2018), constituyendo un instrumento importante para trabajar en estos ecosistemas (Marchetti y Aceñolaza, 2005; Marchetti *et al.*, 2013; Marchetti *et al.*, 2016).

Actualmente, se cuenta con numerosos antecedentes bibliográficos en los cuales, por medio del análisis visual de fotografías analógicas, así como también a partir del análisis de fotografías digitales se ha logrado identificar y describir la distribución espacial de la vegetación del Delta (Pasotti *et al.*, 1976; Franceschi *et al.*, 1985; Aceñolaza *et al.*, 2005; Casco *et al.*, 2005; Marchetti y Aceñolaza, 2011; Marchetti *et*

al., 2013). Si bien el uso de datos provenientes de sensores remotos de tipo activos, como el LIDAR (Light Detection and Ranging) y/o SAR (Syntetic Aperture Radar) ha ganado espacio en los últimos años (Townsend, 2002; Hall *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2020), los estudios realizados con datos ópticos de tipo pasivo son ampliamente mayoritarios. El uso de datos ópticos como fuente principal de información para llevar a cabo el mapeo de humedales a través de su identificación y delineación constituye una de las metodologías más utilizadas (Kandus *et al.*, 2018), ya sea a partir de sensores montados en satélites (McCarthy *et al.*, 2018; Ludwig *et al.*, 2019), como de cámaras portadas por aeronaves, sean éstas tripuladas o no (Gatebe y King, 2016; Navarro *et al.*, 2020).

Asimismo, es importante destacar la utilización en estos últimos tiempos de la plataforma Google Earth para llevar a cabo diversos proyectos de investigación. Para estudios relacionados con las ciencias naturales, se han utilizado imágenes de Google Earth como herramienta para identificar variaciones en las superficies de arena y de vegetación de manglares (Rivas-Rodríguez y Alcaide-Orpí, 2018), para evaluar cambios en la cubierta vegetal (Avilés-Ramírez *et al.*, 2017), así como también, para la realización de mapas geomorfológicos de glaciales (Li *et al.*, 2019).

Como otros humedales, los humedales del sistema hidrológico Paraguay-Paraná y puntualmente, los humedales del Delta del Paraná se encuentran amenazados por la actividad humana (Gottgens *et al.*, 2001; Mitchell, 2013). La caza furtiva de animales, la presión ejercida por la pesca ilegal sobre las poblaciones de peces, el uso indiscriminado del fuego, la deforestación, la intensificación de la actividad agrícola y ganadera sumado a los problemas de contaminación producidos por el vertido de desechos industriales, urbanos y agrícolas constituyen los principales impactos y amenazas sobre los humedales naturales del Delta (Gottgens *et al.*, 2001; Baigún *et al.*, 2008; Benzaquén *et al.*, 2013). Para conservar los humedales, es necesario priorizar la protección de ecosistemas representativos y el mantenimiento de las funciones ecológicas (Keddy, 2000). Dentro del mosaico de humedales del Delta del Paraná, existen distintas figuras y marcos jurídicos que actualmente los protegen como por ejemplo el "Parque Nacional Islas de Santa Fe" (Ley Nacional N° 26.648/10), "Parque Nacional Pre-Delta" (Ley Nacional N° 24063/91), "Reserva de la Biósfera Delta del Paraná" (Decreto Municipal N° 1303/00), "Reserva Natural Estricta El Rico" (Ley Provincial N° 12175/03), "Reserva Municipal Ramallo" (Ordenanza Municipal N° 952/91), "Sitio Ramsar Islas de Santa

Fe” (Designado por la Convención Ramsar en enero de 2016, N° de sitio 2255), Reserva Municipal de Usos Múltiples “Islas de Victoria” (Ordenanza Municipal 2185/03, Ley provincial 8855/94 y 9485/03), entre otros.

Del total de 376.000 ha que constituyen la Reserva Municipal de Usos Múltiples (Categoría VI- Ley de Áreas Naturales Protegidas de la Provincia de Entre Ríos N°10479/17) denominada “Islas de Victoria”, una fracción de 2.204,28 ha ubicadas en el Departamento de Victoria, Distrito Laguna del Pescado, zona de islas, Loteo Charigüé, fueron legadas en su testamento en el año 1942 a la Municipalidad de Rosario por el vecino Carlos Deliot. La suma de superficie de las parcelas legadas alcanza a 2.204,28 ha según títulos y llega a 1.754,70 ha según mensura y registro. La Municipalidad de Rosario viene avanzando en la creación de la “Reserva Municipal Los Tres Cerros” en parte (376 ha) de estos terrenos (Plan de Manejo “Reserva Municipal Los Tres Cerros”; Vesprini comunicación personal) con la idea de *“conservar ambientes de humedal de la ecorregión Delta e Islas del Paraná con especial énfasis en proteger la diversidad natural y cultural, los bienes y servicios ecosistémicos y generar en la ciudadanía el conocimiento que permita apropiarse y valorar el lugar”*. Dada la región de humedales en la que se encuentra inmersa esta Reserva, es altamente probable que presente una diversidad florística y faunística muy importante, sin embargo, hasta el momento no existen estudios que hayan cuantificado dicha riqueza. Estos terrenos han sido explotados de forma no sustentable causando alteraciones no solo en las funciones sino también en la estructura del ecosistema resultando fundamental contar con información que otorgue un conocimiento adecuado del lugar a fin de poder tomar decisiones que permitan conservar y promover el uso racional de los recursos del humedal.

OBJETIVOS

Objetivo general: Describir las comunidades vegetales que se encuentran en el área de intervención de la “Reserva Municipal Los Tres Cerros” realizando censos de vegetación y su distribución espacial utilizando imágenes satelitales.

Objetivos específicos: (1) Identificar y describir la composición florística de las unidades homogéneas de vegetación (comunidades) presentes en el área de estudio. (2) Generar un mapa de distribución espacial de los tipos de comunidades vegetales.

Alcances esperados: se aspira a que la descripción de la composición específica de las comunidades que se presentan en el sitio de estudio y el conocimiento de su

distribución espacial constituyan una herramienta que contribuya a la toma de decisiones relacionadas con el plan de manejo de la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”.

MATERIALES Y MÉTODOS

REGIÓN DE ESTUDIO

El Delta del río Paraná conforma una extensa planicie inundable constituida por depósitos litorales originados por los procesos de ingresión y regresión marina ocurridos durante el Holoceno Medio y, por la deposición de sedimentos transportados por los ríos tributarios de la gran cuenca del Paraná (Morello *et al.*, 2018). El régimen hidrológico del Delta presenta un patrón muy complejo y está determinado por las inundaciones periódicas de los ríos Paraná, Gualeguay y Uruguay. Asimismo, los efectos de las mareas y los vientos del sector SE adquieren importancia en la hidrología del área ya que producen una elevación significativa del caudal de agua (Malvárez, 1997). La región se caracteriza por un clima templado y subhúmedo, con temperaturas medias anuales entre los 16.7°C y los 18°C (Malvárez, 1997; Morello *et al.*, 2018). Las precipitaciones presentan una media anual de 1053.6 mm (Morello *et al.*, 2018). En la región se presentan suelos hidromórficos pertenecientes a los grupos de suelos “low humic gley” y “aluviales gleisólicos” (Bonfils, 1962).

SITIO DE ESTUDIO

Esta tesina se desarrolló en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros” (32° 51' 44.01"S; 60° 35' 30.89"O) la cual abarca 376 hectáreas. La misma se encuentra inmersa en el Delta del río Paraná, estando situada en el Departamento de Victoria, provincia de Entre Ríos (Figura 2).

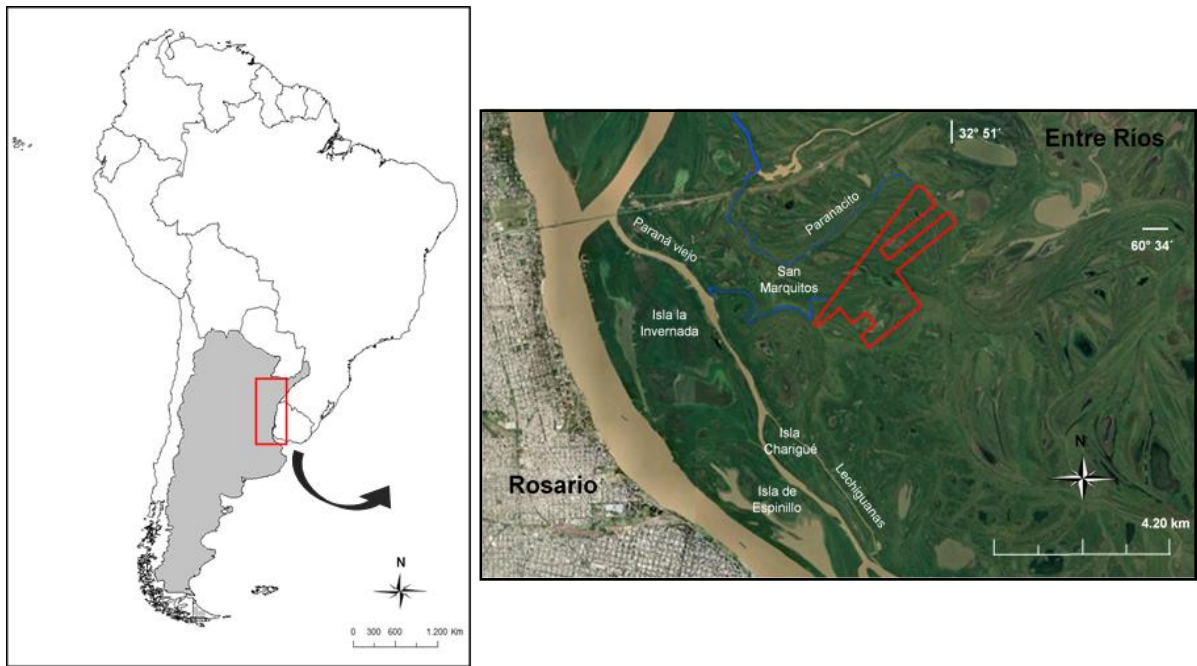


Figura 2. Ubicación de la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”. A la izquierda, se muestra la ubicación en la República Argentina. A la derecha, su ubicación sobre una imagen satelital disponible en Google Earth correspondiente al 18 de marzo de 2020, estando representados los límites de la Reserva en rojo y, en azul el arroyo Paranacito y San Marquitos (Vías navegables de acceso).

TOMA DE DATOS

Muestreo de vegetación

Los censos (censos fitosociológicos) de vegetación fueron realizados en otoño del 2019 (10/05/19 al 3/06/19), siendo las comunidades caracterizadas mediante un censo con parcelas. Con el fin de que todas las comunidades que se presentaban dentro del área de estudio queden representadas, se establecieron durante las salidas a campo parcelas al azar a medida que se identificaba un stand de una asociación, realizándose así un total de 54 censos de vegetación (Figuras 3 y 4; Tabla 1). Tanto para las comunidades leñosas como para las comunidades herbáceas se utilizaron parcelas de 16 m², las cuales cubrieron un área total de 864 m². El tamaño de las parcelas se determinó a partir de consultas bibliográficas (Lewis *et al.*, 1987; Franceschi y Lewis 1991; Franceschi *et al.*, 2005; Franceschi *et al.*, 2010). Las parcelas constituyeron áreas uniformes y homogéneas respecto a las características florísticas, fisonómicas y ambientales (Matteucci y Colma, 1982). Para las comunidades acuáticas los censos se realizaron desde una embarcación a remo o desde la costa de los albardones. La intención de la tesina fue describir la

vegetación dentro de la Reserva, sin embargo, por dificultades de acceso o bien porque las asociaciones no se encontraban suficientemente representadas dentro de los límites del alambrado, algunos de los censos se realizaron en zonas inmediatas a los límites.

Tabla 1. Número de censos que se realizaron por comunidad.

Comunidad	N° censos realizados
Bosque alto	2
Timbozal de timbó colorado	4
Timbozal de timbó blanco	3
Espinillar	4
Ceibal	3
Sabana de espinillo	2
Pajonal de paja de techar	4
Pajonal mixto	3
Pajonal de carrizo	4
Catayzal de <i>P. hydropiperoides</i>	3
Catayzal de <i>P. paraguayense</i>	4
Juncal	3
Varillal	4
Camalotal	4
Embalsado	3
Otras acuáticas	4
Total	54

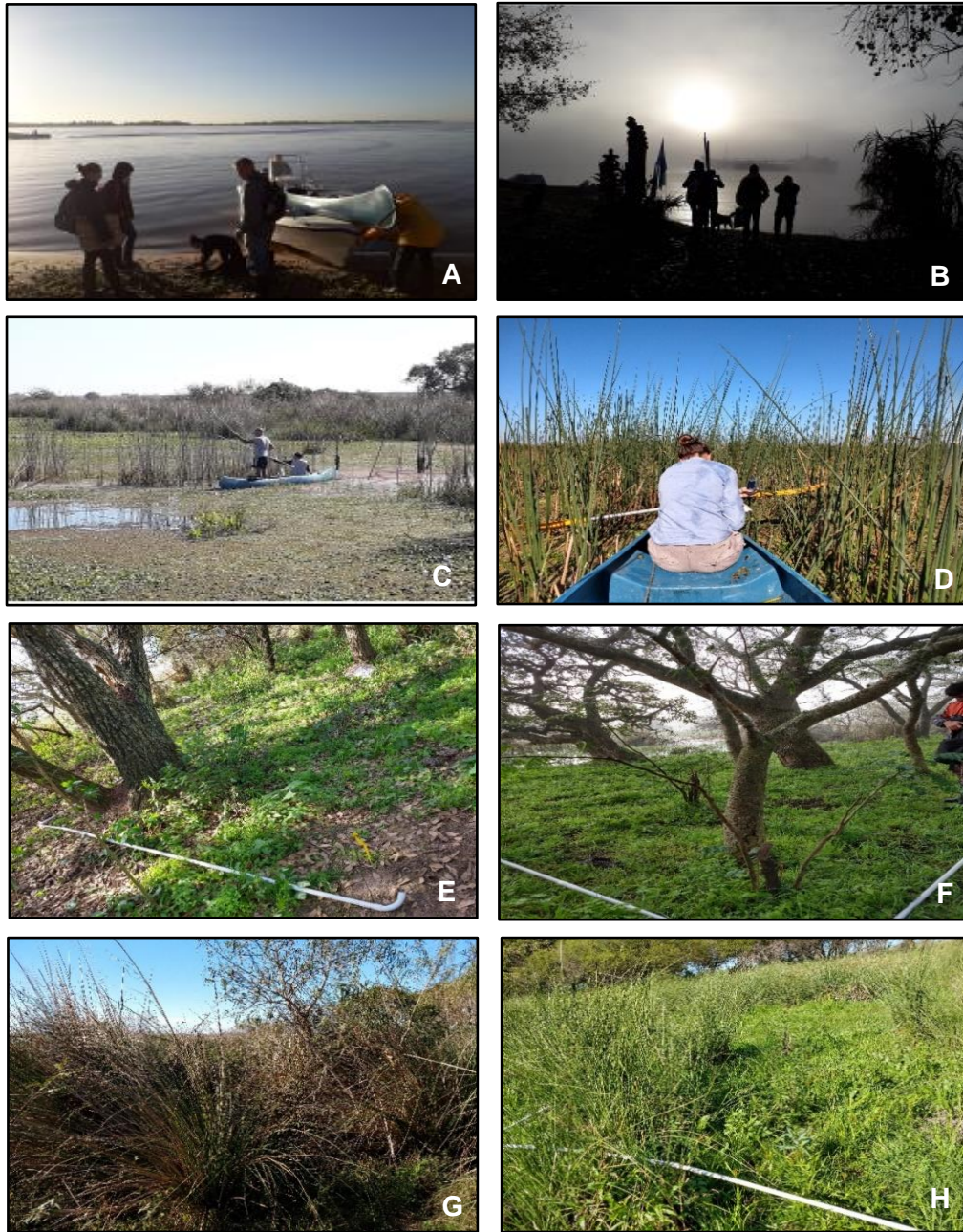


Figura 3. Fotografías del muestreo de vegetación realizado en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”. Salida desde la costa rosarina para realizar los muestreos (A-B); censos de vegetación en parcelas de comunidades acuáticas (C-D), bosques en los albardones (E-F) y pajonales (G-H).

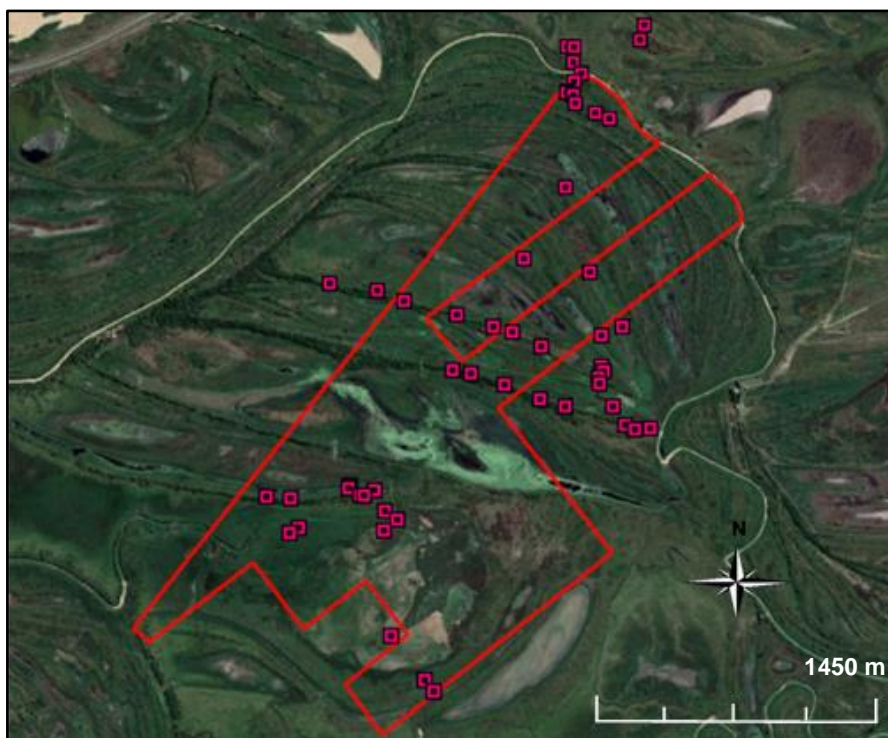


Figura 4. Distribución de los 54 censos de vegetación realizados en el sitio de estudio sobre una imagen satelital disponible en Google Earth correspondiente al 18 de marzo de 2020.

En cada parcela se registraron todas las especies en el área de muestreo y, posteriormente, se le adjudicó a cada una un valor estimado de su abundancia-cobertura utilizando la escala de Braun-Blanquet (Braun Blanquet, 1979) y se describieron algunos caracteres de la vegetación tales como estratificación, altura y estado de desarrollo. En relación a los registros de altura, se realizó una estimación visual tanto para las alturas topográficas de cada comunidad, así como para cada uno de los estratos de las mismas. También, se registraron las especies que se encontraban en el lugar independientemente de si éstas estuvieron presentes en los límites de los censos con el fin de obtener un listado de especies de la Reserva.

Aquellas especies vegetales que no se identificaron a campo, fueron recolectadas para una posterior determinación taxonómica mediante consulta bibliográfica (Burkart, 1969-1974; Arbo y Tressens, 2002; Molina y Rógolo de Agrasar, 2006; Kiesling, 2009) y, a través de la consulta al Herbario Juan Pablo Lewis de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. La nomenclatura botánica seguida se basó en Zuloaga *et al.* (1994) y Zuloaga y Morrone (1996,1999). El hábito de crecimiento de las diferentes especies se determinó a partir de la información aportada por el “Manual de la flora de los alrededores de Buenos Aires” (Cabrera y

Zardini, 1993) y el “Catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur” (Zuloaga *et al.*, 2008).

Análisis de datos

Como resultado de los censos se construyó una tabla de 54 censos por 122 especies que contenía los valores de importancia de las distintas especies para cada uno de los distintos censos. En la misma, se consignó en las columnas los censos realizados y en las filas las especies relevadas, quedando registrado en la intersección de cada fila y columna el valor de abundancia-cobertura de cada especie para cada censo según la escala de Braun-Blanquet (Tabla bruta). A partir de esta tabla, se construyó por un lado una tabla de constancias (1) y, por otro lado, se realizó un análisis numérico de los datos (2).

1) Tabla de constancias

A partir de la tabla bruta original (la cual contenía los datos obtenidos de los muestreos de vegetación) se llevó a cabo una reducción de la misma, eliminando las especies raras, es decir, aquellas especies cuyo único valor de abundancia y cobertura para los censos en los cuales se detectó presencia correspondió a la clase + (Matteucci y Colma, 1982). Posteriormente, se realizaron una serie de tablas parciales en las que se movieron o reubicaron filas y columnas hasta arribar a una tabla diferenciada final. Para ello, se agruparon aquellas especies que se presentaron frecuentemente en los mismos censos, dando origen a una tabla parcial en la cual se definieron los distintos grupos de especies. Luego, a partir de la presencia o ausencia de los distintos grupos de especies identificados se procedió a agrupar los censos, constituyendo así una tabla parcial ordenada. De esta forma, cada conjunto de censos permitió definir una unidad fitosociológica distinta. Sobre esta tabla parcial ordenada, se calculó el rango de constancia para cada especie en cada grupo a partir de las clases de constancia definidas por Braun-Blanquet obteniéndose así la tabla diferenciada final (Perelman *et al.*, 2005). Además, sobre esta tabla diferenciada final se incorporaron como subíndices los valores promedios de cobertura de cada especie para cada comunidad (sensu Franceschi *et al.*, 2005). Con toda esta información se identificaron y describieron las comunidades que se encontraron en la Reserva.

2) Análisis numérico de los datos

Complementariamente, a partir de la tabla bruta original (escala alfanumérica), para realizar el tratamiento numérico de los datos fitosociológicos, se procedió a transformar los valores de importancia para cada especie a la escala de abundancia-cobertura de Van der Maarel (1979). Luego de la elaboración de esta tabla, la misma fue reducida eliminando las especies raras, es decir, aquellas especies cuyos únicos valores para los censos en los cuales se detectó presencia correspondió a la clase 1 y 2 de la escala de Van der Maarel. De esta forma, se obtuvo una tabla reducida con un total de 54 especies.

Posteriormente, para evaluar la variación en la composición específica en los censos, se realizó un ordenamiento NMDS (Non-Metric-Multidimensional-Scaling) en el programa R a partir del paquete vegan (The R Core Team, 2019) utilizando como medida de disimilitud la “distancia Bray-Curtis”. Este método re-arregla los objetos en el espacio en un número particular de dimensiones, reproduciendo las distancias observadas. El valor de Stress (S) es una estadística que mide la distorsión de ese nuevo arreglo, es decir, del ajuste que existe entre las distancias originales y las distancias en el nuevo arreglo (Manly, 2003). Con la figura resultante del ordenamiento, se puede visualizar el agrupamiento de los censos similares en términos de su composición específica. Por otro lado, para poder comparar visualmente los valores de cobertura total de las comunidades, así como también, la altura y cobertura de cada uno de sus estratos se construyeron diagramas de cajas. Estos diagramas se realizaron en el Programa R a partir de la utilización del paquete ggplot2 (The R Core Team, 2019).

Datos de sensores remotos y clasificación digital

La misión Monitoreo Global para el Medio Ambiente y Seguridad Sentinel-2 se basa en observaciones ópticas de alta resolución multiespectral sobre la superficie terrestre. El par de satélites Sentinel-2 (denominados 2-A y 2-B), operan de forma simultánea con una órbita síncrona al Sol a 786 km de altitud, con un tiempo efectivo de revisita en el Ecuador de 5 días. El sensor multiespectral a bordo (Multispectral Imager - MSI) consta de 13 bandas espectrales que abarcan desde el visible e infrarrojo cercano al infrarrojo de onda corta, con una resolución espacial que varía desde 10 metros hasta 60 metros dependiendo de la banda espectral (Drusch *et al.*, 2012). Para el presente trabajo se utilizó una imagen de este tipo, captada el 12 de mayo de 2019 por ser la fecha más cercana al desarrollo del trabajo de campo.

Asimismo, las cámaras aéreas digitales permiten obtener imágenes multispectrales con una elevada precisión geométrica e información radiométrica (Honkavaara y Markelin, 2007), permitiendo crear mapas detallados con una elevada resolución espacial (Tiner, 1997). El sistema aerofotogramétrico utilizado fue el sistema Vexcel UltraCam Xp que presenta una resolución espectral que abarca las regiones del rojo (R), verde (G), azul (B) e infrarrojo cercano (NIR) y una resolución radiométrica de más de 12 bits. El vuelo a partir del cual se obtuvieron las imágenes que se utilizaron en el presente trabajo se realizó el 13 de agosto de 2013 (IGN, 2020). Si bien los mosaicos aerofotográficos no corresponden al período en el cual fue realizado el trabajo de campo, éstos fueron utilizados con el fin de trabajar con un mayor grado de detalle gracias a su elevada resolución.

La radiación reflejada por los objetos situados sobre la superficie terrestre es detectada por los sensores digitales, quedando caracterizada por un valor numérico denominado Nivel Digital (ND), a partir del cual se realiza el tratamiento digital de imágenes (Chuvieco, 1995), con posterioridad a la realización de los ajustes radiométricos de rigor.

Previo a realizar las salidas a campo, se procedió a realizar una clasificación no supervisada de la imagen Sentinel-2 y los mosaicos aerofotográficos (calibrados a valores de reflectividad) mediante el algoritmo K-means. El método se fundamenta en que los valores de reflectividad de la imagen forman una serie de conglomerados (*clusters*) los cuales corresponderían a píxeles con un comportamiento espectral homogéneo y, de esta forma, definirían clases temáticas de interés (Chuvieco, 1995; Duda *et al.*, 2001). Para la imagen Sentinel-2 se realizó una clasificación en la cual se definieron 16 clases de interés, mientras que, para los mosaicos aerofotográficos se realizaron dos clasificaciones en las cuales se establecieron 10 y 16 clases respectivamente. El procesamiento de las imágenes satelitales se llevó a cabo utilizando el sistema de información geográfica QGIS (QGIS Development Team, 2020).

Durante las salidas a campo, además de los 54 censos de vegetación realizados, se establecieron puntos extra al azar sobre los cuales se identificó la comunidad que allí se encontraba. Tanto los censos como los puntos extra fueron georreferenciados a partir del Sistema de Posicionamiento Global de EEUU (GPS - Global Positioning System), utilizando el receptor Garmin GPSMAP 60Cx. De esta forma, se obtuvo un

total de 127 puntos con sus respectivas coordenadas geográficas que contenían información sobre la vegetación (comunidad) que allí se encontraba (Figura 5).

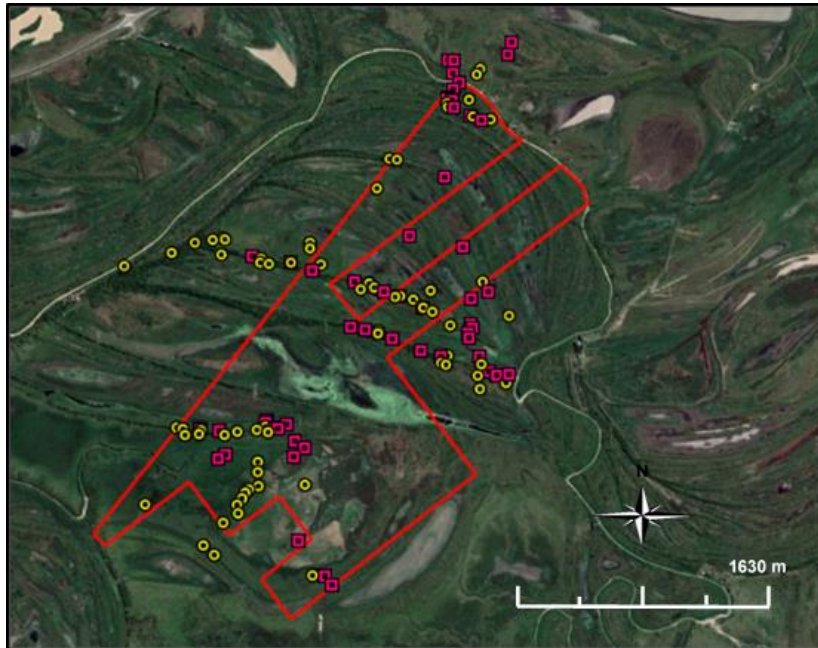


Figura 5. Distribución de los censos realizados y puntos extra registrados en la Reserva sobre una imagen satelital disponible en Google Earth correspondiente al 18 de marzo de 2020. En rojo se muestran los límites de la Reserva, con cuadrados rosas se encuentran representados los censos de vegetación, mientras que con círculos amarillos se representan los puntos extra registrados.

A partir de los datos obtenidos en el relevamiento a campo y, complementando con las coordenadas geográficas de cada punto, se procedió a corroborar las relaciones existentes entre lo observado y registrado a campo con los resultados proporcionados por el proceso de clasificación no supervisada. Para poder constatar estas relaciones, se dispusieron las coordenadas geográficas de cada censo y punto extra sobre los distintos mapas no supervisados, corroborando de esta forma cuántos censos y puntos extra coincidían con cada clase temática definida (Tabla 2).

Tabla 2. Cantidad de censos y puntos extra que se relacionan con cada clase para las tres clasificaciones no supervisadas realizadas.

Mosaicos aerofotográficos		Mosaicos aerofotográficos		Sentinel-2
Clases	<i>Censos / Ptos extra</i>	Clases	<i>Censos / Ptos extra</i>	<i>Censos / Ptos extra</i>
1	8 censos / 16 ptos	1	5 censos / 10 ptos	- / 1 pto
2	1 censo / 1 pto	2	1 censo / 3 ptos	-
3	5 censos / 9 ptos	3	- / 1 pto	1 censo / -
4	8 censos / 8 ptos	4	4 censos / 9 ptos	- / 2 ptos
5	1 censo / 2 ptos	5	2 censos / 3 ptos	1 censo / 3 ptos
6	6 censos / 12 ptos	6	6 censos / 7 ptos	5 censos / 6 ptos
7	5 censos / 2 ptos	7	4 censos / 2 ptos	5 censos / 7 ptos
8	8 censos / 8 ptos	8	1 censo / 2 ptos	4 censos / 10 ptos
9	3 censos / 9 ptos	9	5 censos / 10 ptos	8 censos / 5 ptos
10	3 censos / 6 ptos	10	3 censos / 1 pto	2 censos / 2 ptos
		11	4 censos / 4 ptos	1 censo / 2 ptos
		12	1 censo / 2 ptos	2 censos / 2 ptos
		13	3 censos / 2 ptos	- / 1 pto
		14	4 censos / 6 ptos	1 censo / -
		15	2 censos / 6 ptos	-
		16	3 censos / 5 ptos	-

Debido a que los resultados de las clasificaciones no supervisadas no se relacionaron con lo observado y registrado a campo, se procedió a realizar una clasificación supervisada basada en píxeles utilizando el algoritmo distancia mínima (Congalton, 1991; Li *et al.*, 2014). Este método requiere un conocimiento previo de la región o sector en estudio con la finalidad de que el usuario pueda delimitar sobre la imagen áreas piloto, las cuales se consideran sitios lo suficientemente representativos y homogéneos de las categorías o clases que pretenden definirse. A partir del paquete Semi-Automatic Classification de QGIS (Congedo, 2013), se delimitaron ROI's (Regions of interest) sobre la imagen Sentinel-2 en función de los datos de campo. Los distintos sitios de interés o sitios de entrenamiento constituyen polígonos con píxeles espectralmente homogéneos que se originan a partir de la segmentación de la imagen alrededor de un píxel semilla el cual es establecido por el usuario.

En total se delimitaron 27 sitios de entrenamiento para 13 unidades homogéneas identificadas en el sitio de estudio (Tabla 3). Si bien en el campo se identificaron 16 comunidades vegetales; los camalotales, varillales y juncales fueron incluidos en una sola categoría ya que sus respectivos censos y puntos extra presentan firmas espectrales muy similares, haciendo dificultosa su diferenciación. Asimismo, el bosque alto no fue incluido dentro de la clasificación dado que los censos y puntos extra de dicha comunidad se presentaban fuera de los límites del área de estudio. Por otro lado, el conglomerado de otras acuáticas tampoco fue incluido en la clasificación dado que, un solo censo se presentaba dentro de los límites de la Reserva y, además, debido a que esta categoría presenta una gran variabilidad interna. En función de los sitios de entrenamiento, se calcularon las estadísticas elementales de cada clase a partir de la reflectividad de todos los píxeles que definen cada una de las categorías. De esta forma, para los píxeles presentes en la imagen se les asignó una categoría en función a su reflectividad (Chuvieco, 1995).

Con el objetivo de estimar la fiabilidad de la clasificación supervisada se construyó de forma manual una matriz de confusión (Chuvieco, 1995), en la cual se compararon los resultados de la clasificación frente a áreas de verdad de campo. Para estas áreas de verdad de campo, se delimitaron 47 polígonos sobre la imagen Sentinel-2 a partir de los datos registrados a campo (Tabla 3). La diferencia presentada entre el número total de sitios de entrenamiento y polígonos de verdad de campo se debe a que durante la realización de los ROI's algunos censos o puntos extra debido a su proximidad quedaron dentro de un mismo polígono.

La diagonal de la matriz de confusión expresa la cantidad de píxeles reales y de la clasificación que coinciden por categoría, mientras que los restantes suponen errores de asignación. Los residuales en las filas cuantifican cuántos de los píxeles que no perteneciendo a una clase aparecen en ella, mientras que, los residuales en las columnas cuantifican cuántos de los píxeles que perteneciendo a una clase no aparecen en ella por estar erróneamente incluidos en otra. En definitiva, los residuales de las filas y columnas representan errores de omisión y comisión, respectivamente (Chuvieco, 1995; Niclòs *et al.*, 2010).

Tabla 3. Cantidad de sitios de entrenamiento y polígonos de verdad de campo realizados para cada una de las 13 unidades homogéneas definidas en la clasificación supervisada de la imagen Sentinel-2.

Unidad homogénea	N° de sitios de entrenamiento	N° de polígonos de verdad de campo
Laguna	3	5
Camalotal, Varillal y Juncal	3	5
Embalsado	1	3
Catayzal de <i>P. hydropiperoides</i>	1	2
Catayzal de <i>P. paraguayense</i>	2	3
Timbozal de timbó colorado	4	5
Timbozal de timbó blanco	2	3
Ceibal	1	1
Espinillar	2	5
Sabana de espinillo	1	1
Pajonal de paja de techar	3	7
Pajonal de carrizo	2	3
Pajonal mixto	2	4
Total	27	47

A partir de la matriz de confusión se calculó el índice Kappa (K) propuesto por Cohen (1960). Este índice mide la diferencia entre el acuerdo mapa-realidad observado y el que cabría esperar simplemente por el azar (Hudson y Ramm, 1987; Congalton, 1991; Chuvieco, 1995; Cerda y Villarroel, 2008). El coeficiente Kappa toma valores entre 0 y 1, reflejando un valor de K próximo a 1 una fuerza de concordancia casi perfecta, mientras que un valor cercano a 0 indica una concordancia pobre (Chuvieco, 1995; Landis y Koch, 1977; Moreira, 2001). La Tabla 4 corresponde a la escala utilizada con frecuencia para expresar cualitativamente la fuerza de concordancia, según Landis y Koch (1977) (tomado de Cerda y Villarroel, 2008). Los valores de este coeficiente indican si la clasificación ha discriminado las categorías de interés con una precisión significativamente mayor a la que se hubiera obtenido a partir de un clasificador aleatorio (Chuvieco, 1995).

Tabla 4. Valoración del coeficiente Kappa (Landis y Koch, 1977).

Coeficiente Kappa	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre
0.01 – 0.20	Leve
0.21 – 0.40	Aceptable
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Considerable
0.81 – 1.00	Casi perfecta

Finalmente, para mostrar la variabilidad temporal de las superficies cubiertas por agua, se procedió a realizar un mapa de ambientes para un año húmedo comparándolo con un mapa de ambientes para un año seco. Las imágenes utilizadas para delimitar los distintos ambientes corresponden al banco de imágenes que se encuentra disponible en Google Earth. La elección de los años se realizó a partir de una revisión bibliográfica (Isla, 2018; INA, 2019a-b; SMN, 2019; Antico y Diaz, 2020; Liotta *et al.*, 2020). Para el año húmedo, se utilizó una imagen correspondiente al 8 de agosto de 2016, mientras que, para el año seco se trabajó sobre una imagen correspondiente al 2 de septiembre de 2019. La digitalización de los distintos ambientes se realizó a mano en la plataforma de Google Earth sobre las imágenes mencionadas anteriormente, complementándose con la información proporcionada por las distintas clasificaciones no supervisadas y por los datos registrados a campo. En dichos mapas se distinguieron algunos elementos geomorfológicos tales como albardones, cuerpos de agua, suelo desnudo y playas de arena y, algunas comunidades vegetales registradas a campo tales como pajonal mixto, pajonal de carrizo, catayzal de *P. paraguayense* y comunidades acuáticas. Para cada una de estas unidades geomorfológicas y comunidades vegetales se reportó la superficie aproximada ocupada con el fin de poder comparar las extensiones comprendidas para cada año.

RESULTADOS

LA FLORA DE LA “RESERVA MUNICIPAL LOS TRES CERROS”

Como resultado de los muestreos realizados en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros” se han registrado un total de 122 entidades diferentes, de las cuales 102 se lograron determinar a nivel especie, identificándose en total 41 familias y 95 géneros (Tabla A1). Las familias más representativas, presentadas en un orden de importancia decreciente fueron: *Poaceae*, *Fabaceae*, *Asteraceae*, *Cyperaceae*, *Solanaceae*, *Lamiaceae*, *Polygonaceae* y *Convolvulaceae*, presentando entre 17 a 4 especies cada una (Figura 6). El 58% del total de las especies se encontraron representadas en las familias mencionadas anteriormente, estando comprendidas en las familias *Poaceae*, *Fabaceae* y *Asteraceae* el 35% de la riqueza total.

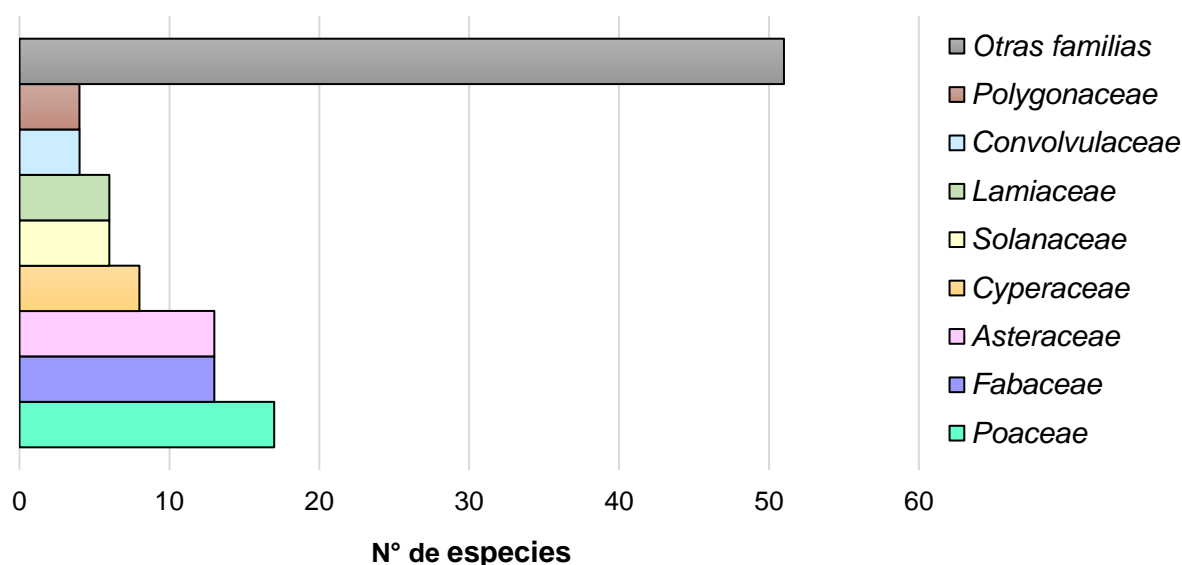


Figura 6. Gráfico de barras de la distribución del número de especies de plantas por familia, estando representadas en el gráfico las familias más representativas las cuales albergaron más de 4 especies.

En función de las diferentes formas de crecimiento se han registrado 8 especies arbóreas, 8 especies de arbustos, 13 enredaderas y 93 herbáceas (Figuras 7 y 8; Tabla A1). Dentro de las especies arbóreas inventariadas se identificaron *Albizia inundata*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Erythrina crista-galli*, *Nectandra angustifolia*, *Salix humboldtiana*, *Sapium haemospermum*, *Senegalia bonariensis* y *Vachellia caven*. Con respecto a las especies arbustivas, se registró la presencia de *Hibiscus*

striatus, *Lippia alba*, *Mimosa pilulifera*, *Mimosa vellosiella*, *Senna pendula*, *Sesbania virgata*, *Solanum amygdalifolium* y *Solanum glaucophyllum*. La mayoría de especies registradas en los censos presentan un hábito de crecimiento herbáceo. Dentro de las mismas, se registraron 14 especies de hierbas acuáticas entre las cuales se puede mencionar *Azolla filiculoides*, *Pontederia azurea*, *Myriophyllum aquaticum*, *Pistia stratiotes*, *Pontederia crassipes*, *Salvinia biloba* y *Schoenoplectus californicus*. Además, se distinguieron 7 especies de hierbas palustres tales como *Cyperus* aff. *odoratus*, *Eleocharis* aff. *minima* y *Thalia geniculata*. Dentro de las 13 enredaderas inventariadas, se registró la presencia de *Mikania* sp., *Cissus palmata*, *Cayaponia podantha*, *Convolvulus* aff. *arvensis*, entre otras. Las 72 especies restantes correspondieron a plantas con un hábito de crecimiento herbáceo terrestre (Tabla A1). No se incluyeron en los censos, ni en el relevamiento, las especies epífitas que se encontraban habitando en la copa de los árboles.



Figura 7. Fotografías de algunas especies vegetales encontradas en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”. (A) *Ricciocarpus natans* (B) *Myriophyllum aquaticum*, (C) *Pontederia azurea*, (D) *Schoenoplectus californicus*, (E) *Pistia stratiotes* y (F) *Solanum glaucophyllum*.

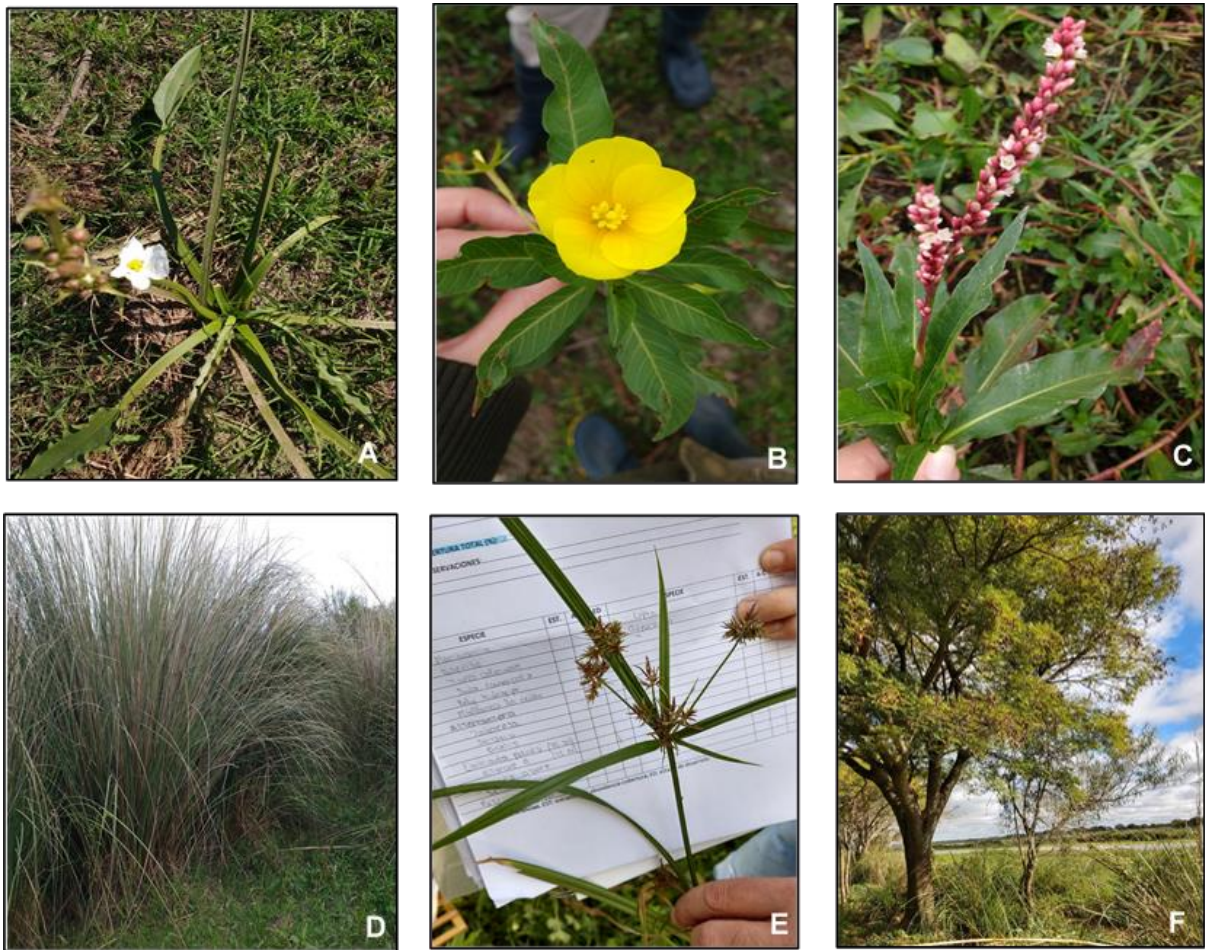


Figura 8. Fotografías de algunas especies vegetales encontradas en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”. (A) *Echinodorus grandiflorus*, (B) *Ludwigia peploides*, (C) *Polygonum hydropiperoides*, (D) *Coleataenia prionitis*, (E) *Cyperus* aff. *eragrostis* y (F) *Albizia inundata*.

LAS COMUNIDADES VEGETALES DE LA “RESERVA MUNICIPAL LOS TRES CERROS”

Dentro del sitio de estudio, se reconocieron 3 formaciones diferentes: bosque, sabana y pastizal. En los bosques se realizaron 16 censos, en la sabana 2 censos y, en los pastizales (formación que incluye comunidades herbáceas de alto porte, comunidades herbáceas de bajo porte y acuáticas) 36 censos (Tabla 5).

Tabla 5. Cantidad y porcentaje de censos realizados para las diferentes formaciones identificadas en el sitio de estudio con respecto al total de censos.

Formación	N° de censos	Porcentaje (%)
Bosque	16	29.63
Sabana	2	3.70
Pastizal	36	66.67
Total	54	100

Un total de 16 comunidades diferentes fueron identificadas caracterizándose las mismas por una estructura y composición específica definida (Tabla 6). Entre las comunidades identificadas a campo se encontraron: bosque alto, timbozal de timbó colorado, ceibal, timbozal de timbó blanco, espinillar, sabana de espinillo, pajonal de paja de techar, pajonal mixto, pajonal de carrizo, catayzal de *Polygonum hydropiperoides*, embalsado, camalotal, catayzal de *Polygonum paraguayense*, varillal, juncal y otras acuáticas (Figuras 9-11).

Tabla 6. Tabla condensada de constancia de las distintas especies para las comunidades descritas en el sitio de estudio. Los valores de la escala de constancia indican la presencia de una especie en los stands de una comunidad correspondiendo el valor I a la presencia de la especie en menos del 20% de los stands, II del 21% al 40%, III del 41% al 60%, IV del 61% al 80% y V 81% al 100%. Los subíndices muestran el valor promedio de cobertura (%) de cada especie para cada comunidad. 1) Bosque alto, 2) Timbozal de timbó colorado, 3) Ceibal, 4) Timbozal de timbó blanco, 5) Espinillar, 6) Sabana de espinillo, 7) Pajonal de paja de techar, 8) Pajonal mixto, 9) Pajonal de carrizo, 10) Catayzal de *Polygonum hydropiperoides*, 11) Embalsado, 12) Camalotal, 13) Catayzal de *Polygonum paraguayense*, 14) Varillal, 15) Juncal, 16) Otras acuáticas. Los distintos recuadros muestran grupos de especies, siendo: A- especies arbóreas, B- especie exclusiva del timbozal, C- especies constantes en el sotobosque, D- especies acompañantes del sotobosque, E- especies del pajonal asociadas también a comunidades acuáticas, F- especies del pajonal asociadas también a los bosques, G- especies exclusivas de los pajonales, H- especie poco fiel: *P. hydropiperoides*, I- especies asociadas a comunidades acuáticas, J- especies del embalsado, K- especie exclusiva del camalotal, L- especie exclusiva del catayzal de *P. paraguayense*, M- especie exclusiva del juncal, N- especie exclusiva de comunidad sumergida.

Comunidad/Especie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Grupo
<i>Vachellia caven</i>	III _{2.50}	II _{3.75}		IV _{1.67}	V _{68.75}	V _{26.25}	II _{0.63}										
<i>Sapium haemospermum</i>	V _{37.50}	III _{1.25}	II _{5.00}	IV _{1.67}	III _{1.88}	III _{1.25}	III _{1.88}										
<i>Erythrina crista-galli</i>	III _{1.25}	IV _{28.13}	V _{55.00}	II _{0.83}	II _{0.63}												A
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	V _{33.75}	V _{62.50}				III _{2.50}											
<i>Nectandra angustifolia</i>	III _{18.75}				II _{0.63}												
<i>Albizia inundata</i>				V _{87.50}													B
<i>Salix humboldtiana</i>			II _{29.17}														
<i>Sida rhombifolia</i>	V _{3.75}	V _{3.75}	V _{7.50}	IV _{1.67}	IV _{5.00}	V _{3.75}	II _{0.63}										
<i>Parietaria debilis</i>	V _{3.75}	V _{2.50}	V _{14.17}	V _{3.33}	V _{3.13}	III _{2.50}	II _{0.63}										
<i>Jaborosa integrifolia</i>	V _{2.50}	IV _{1.88}	V _{2.50}	V _{3.33}	IV _{1.88}	V _{2.50}	IV _{1.88}										C
<i>Solanum pilcomayense</i>	III _{1.25}	IV _{1.88}	V _{2.50}	V _{2.50}	IV _{1.88}	III _{2.50}	II _{0.63}										
<i>Steinchisma laxa</i>	III _{1.25}	II _{3.75}	V _{3.33}	IV _{1.67}	III _{1.25}												

Tabla 6. Continuación

Comunidad/Especie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Grupo
<i>Alternanthera philoxeroides</i>	III1.25	II0.63	II0.83	II0.83	IV1.88	V3.75	IV1.88										D
Poaceae sp1	III1.25	II0.63	II0.83	II0.83	II0.63	III2.50		II0.83			II1.67			II0.63			
<i>Solanum chacoense</i>	III1.25	IV2.50	II0.83	II0.83	II0.63												
<i>Paspalum inaequivalve</i>	III18.75	II9.38	II12.50				III1.25										
<i>Leonurus japonicus</i>	III1.25			II0.83	III1.25	V20.00	III1.25	II0.83									
<i>Acmella decumbens</i>	III2.50	II0.63															
Poaceae sp2		II1.25			II0.63												
<i>Teucrium vesicarium</i>		III1.88	V3.33		III1.56												
<i>Poa</i> sp.		III37.50							II0.63								
<i>Enydra anagallis</i>					II0.63	III1.25	II0.63			IV6.67	IV1.67	III1.25					E
<i>Hymenachne pernambucense</i>					II0.63			V7.50	V81.25					II9.38	II5.00		
<i>Coleataenia prionitis</i>	III1.25	II0.63	II0.83		IV13.75	III2.50	V50.63	V70.83									F
<i>Mikania</i> sp.	III1.25			II0.83	II0.63	III1.25	III4.38	IV1.67	II3.75	IV1.67							
<i>Aspilia silphioides</i>	III1.25						III1.88	II0.83									
Poaceae sp3				II1.67			II1.25										
<i>Hibiscus striatus</i>			II0.83				II1.25										
<i>Cynodon dactylon</i>				IV1.67	II0.63		II1.25										
<i>Cyperus esculentus</i>	III1.25		II0.83	II0.83			II1.25										
Poaceae sp4			II0.83	II0.83	II1.25												
<i>Eleocharis aff minima</i>							II3.75										G
<i>Polygonum stelligerum</i>							II3.75	II0.83	II9.38								
<i>Mimosa vellosiella</i>								II0.83	II1.25								
<i>Polygonum hydropiperoides</i>	III2.50	III1.25	II0.83	IV1.67	IV10.63	V2.50	IV2.50	IV1.67	II1.25	V8.33		IV2.50		V3.13	II0.83		H

Tabla 6. Continuación

Comunidad/Especie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Grupo
<i>Ludwigia peploides</i>										II _{0.83}	V _{4.17}	V _{3.13}		V _{3.13}	V _{2.50}	IV _{1.88}	I
<i>Salvinia biloba</i>										V _{8.33}	IV _{1.67}	V _{17.50}	II _{0.63}	IV _{24.38}	II _{1.67}	II _{3.75}	
<i>Pistia stratiotes</i>										V _{22.50}	II _{0.83}	III _{1.88}	III _{1.25}	III _{1.25}	IV _{2.50}	III _{25.63}	
<i>Limnobium laevigatum</i>										IV _{2.50}	II _{0.83}	III _{16.25}	II _{0.63}	II _{0.63}		III _{1.25}	
<i>Myriophyllum aquaticum</i>											V _{5.00}	IV _{2.50}		II _{0.63}	II _{0.83}		
<i>Azolla filiculoides</i>											II _{0.83}	III _{1.88}		IV _{31.88}	V _{43.33}	II _{1.25}	
<i>Ricciocarpos natans</i>								II _{0.83}			II _{0.83}	III _{1.88}		II _{15.63}			
<i>Solanum glaucophyllum</i>							III _{1.25}	II _{0.83}						IV _{28.75}			
<i>Louisiella elephantipes</i>													II _{0.63}			II _{3.75}	
<i>Pontederia crassipes</i>							II _{0.63}				II _{0.83}	IV _{59.38}					
<i>Ludwigia bonariensis</i>											II _{12.50}						J
<i>Ludwigia leptocarpa</i>											II _{1.67}						
<i>Senecio bonariensis</i>		II _{0.63}									V _{30.83}						
<i>Cyperus aff odoratus</i>											V _{6.67}						
<i>Pontederia azurea</i>												II _{9.38}					K
<i>Polygonum paraguayense</i>													V _{81.25}				L
<i>Schoenoplectus californicus</i>														V _{38.33}			M
<i>Ceratophyllum demersum</i>																II _{1.25}	N
<i>Thalia geniculata</i>								II _{0.83}						III _{4.38}			



Figura 9. Fotografías de algunas de las comunidades vegetales encontradas en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”. A) Bosque alto, B) Timbozal de timbó colorado, C) Ceibal, D) Timbozal de timbó blanco, E) Sabana de espinillo y F) Espinillar.



Figura 10. Fotografías de algunas de las comunidades vegetales encontradas en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”. A) Catayzal de *Polygonum paraguayense*, B) Embalsado, C) Camalotal, D) Catayzal de *Polygonum hydropiperoides*, E) Pajonal de paja de techar, F) Pajonal mixto.



Figura 11. Fotografías de algunas de las comunidades vegetales encontradas en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”. A) Pajonal de carrizo, B) Varillal, C) Juncal y D) Pistizal (comprendida dentro de otras acuáticas).

A continuación se describen las diferentes comunidades que han sido registradas en la Reserva:

El **bosque alto** se caracterizó por la asociación de distintas especies de leñosas tales como *Nectandra angustifolia*, *Sapium haemospermum*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Vachellia caven* y *Erythrina crista-galli*. Este bosque presentó una cobertura total del suelo que varió entre 90-95% (Figura 12). Estructuralmente, se presentaron tres estratos de vegetación: un estrato arbóreo y dos estratos herbáceos con una altura media de 6.5, 0.68 y 0.15 metros respectivamente (Figura 13). Con respecto a los valores de abundancia y cobertura, las especies acompañantes más importantes fueron *Paspalum inaequivalve*, *Acmella decumbens* y *Polygonum hydropiperoides*. Por otro lado, *S. haemospermum*, *E. contortisiliquum*, *Sida rhombifolia*, *Parietaria debilis*, *Jaborosa integrifolia* fueron las especies que

presentaron el mayor valor de constancia dentro de la comunidad (Tabla 6). Aclaración: los datos promedio de altura y cobertura de esta comunidad se calcularon a partir de dos censos, es por esto que el gráfico de cajas presentado es solo a modo figurativo.

El **timbozal de timbó colorado** es una comunidad dominada por *Enterolobium contortisiliquum* el cual esta frecuentemente acompañado por otras especies leñosas tales como *Erythrina crista-galli*, *Sapium haematospermum* y *Vachellia caven*, y no se encuentra presente *Albizia inundata*. Este bosque presentó una cobertura total elevada que varió de 90 a 100% (Figura 12). El estrato arbóreo presentó una altura media de 8.75 metros, presentando uno o dos estratos herbáceos con una altura variada (Figura 13). Algunas de las especies acompañantes del sotobosque fueron *Jaborosa integrifolia*, *Solanum chacoense*, *Poa* sp. y *Solanum pilcomayense*. Siendo *E. crista-galli*, *Sida rhombifolia* y *Parietaria debilis* especies constantes dentro de esta comunidad (Tabla 6).

Dentro de la Reserva, en un único albardón se puede observar el **timbozal de timbó blanco** en el cual domina *Albizia inundata* acompañada de *Sapium haematospermum*, *Vachellia caven* y en ocasiones de *Erythrina crista-galli*, pero no se encuentra presente *Enterolobium contortisiliquum*. Esta comunidad presentó una cobertura total del suelo del 90 al 100% (Figura 12). Estructuralmente, se presentó un estrato arbóreo con una altura media de 7 metros y una cobertura promedio del 93% y, un estrato herbáceo con una altura media de 0.13 metros y una cobertura promedio del 47% (Figuras 12 y 13). Con respecto a las especies acompañantes podemos mencionar entre las más importantes desde el punto de vista de la constancia a *Parietaria debilis*, *Jaborosa integrifolia*, *Solanum pilcomayense* (Tabla 6).

El **ceibal** es una comunidad en la que domina *Erythrina crista-galli* y puede verse acompañada por otras especies leñosas. Teniendo en cuenta todos los estratos, la cobertura total de esta comunidad fue alta variando entre 90 a 100% (Figura 12). Se identificaron tres estratos, un estrato arbóreo con una altura media de 9.3 metros y una cobertura promedio del 87% y, dos estratos herbáceos con una altura media de 1.13 y 0.23 metros respectivamente, siendo el estrato herbáceo más bajo el de mayor cobertura presentando un 68% (Figuras 12 y 13). Las especies acompañantes con mayor grado de constancia fueron *Sida rhombifolia*, *Parietaria*

debilis, *Jaborosa integrifolia*, *Solanum pilcomayense*, *Steinchisma laxa* y *Teucrium vesicarium* (Tabla 6).

El **espinillar** es una comunidad dominada por *Vachellia caven* distribuyéndose en las partes bajas del albardón. Este bosque presentó una cobertura total promedio del 95%, pudiendo distinguirse tres estratos. El estrato arbóreo presentó una altura promedio de 5.25 metros con una cobertura del 74%. En esta comunidad se registraron dos estratos herbáceos los cuales presentaron una altura media de 1.3 metros y 0.35 metros respectivamente (Figuras 12 y 13). Con respecto a los valores de abundancia y cobertura, las especies acompañantes más importantes fueron *Sida rhombifolia*, *Parietaria debilis*, *Jaborosa integrifolia*, *Solanum pilcomayense*, *Alternanthera philoxeroides*, *Polygonum hydropiperoides* y *Coleataenia prionitis*. La especie más constante fue *P. debilis*, sin embargo, esta especie no resulta ser fiel a la comunidad (Tabla 6). Se registró la presencia de una plántula de *Nectandra angustifolia* con una escasa y baja cobertura en los censos de esta comunidad, sin embargo, es relevante aclarar que esta especie no es importante en el espinillar.

Es importante destacar que los diferentes tipos de bosques pueden presentar en el sotobosque componentes arbustivos constituyendo un estrato discontinuo. Por otro lado, en estos bosques el estrato herbáceo suele presentar una gran diversidad de especies vegetales asociadas a la ganadería dado que los albardones son ambientes con alta carga de ganado bovino.

En ocasiones *Vachellia caven* se encuentra acompañada de *Coleataenia prionitis* formando **sabanas** (que podrían ser consideradas ecotonos entre los pajonales y los espinillares). Estas sabanas de *V. caven* (especie arbórea dominante), presentaron una cobertura total promedio del 88%. El estrato arbóreo de esta comunidad presentó una altura media de 5 metros y una cobertura del 30%. En el sotobosque se presentaron dos estratos herbáceos. Por un lado, el estrato medio se encontró dominado por *C. prionitis* presentando una cobertura promedio del 8% y una altura media de 1.1 metros. Por otro lado, el estrato herbáceo inferior presentó una cobertura alta con un 82% y una altura media de 0.3 metros (Figuras 12 y 13). En relación con los valores de abundancia y cobertura, la especie acompañante más importante fue *Leonurus japonicus*. Por otro lado, *C. prionitis*, *Alternanthera philoxeroides*, *L. japonicus*, *Sida rhombifolia*, *Jaborosa integrifolia* y *Polygonum hydropiperoides* integraron el grupo de las especies con mayor grado de constancia dentro de la comunidad (Tabla 6). Aclaración: los datos promedio de altura y

cobertura de esta comunidad se calcularon a partir de dos censos, es por esto que el gráfico de cajas presentado es solo a modo figurativo.

Dependiendo la altura topográfica podemos encontrar tres tipos diferentes de pajonales en la Reserva. Así, en las áreas más elevadas hallamos los **pajonales de paja de techar**. Esta comunidad dominada por *Coleataenia prionitis* presentó una cobertura total aproximada del 78% (Figura 12). Desde el punto de vista estructural, se presentaron tres estratos herbáceos con una altura media de 3.5, 1.6 y 0.36 metros respectivamente (Figura 13). Las especies acompañantes más importantes fueron *Leonurus japonicus*, *Solanum glaucophyllum*, *Mikania* sp. y *Aspilia silphoides*, siendo *Polygonum hydropiperoides*, *Alternanthera philoxeroides*, *Jaborosa integrifolia* especies constantes en la comunidad (Tabla 6). En zonas intermedias con respecto a la altura del suelo, podemos encontrar a *Hymenachne pernanbucence* coexistiendo con *C. prionitis*. Este **pajonal mixto** presentó una cobertura total promedio del 85%. Estructuralmente, se registraron dos estratos herbáceos con una cobertura media del 85% y 25% respectivamente (Figura 12). Dentro de esta comunidad, *H. pernanbucence*, *C. prionitis*, *P. hydropiperoides* y *Mikania* sp. presentaron el grado más alto de constancia (Tabla 6). En las zonas más bajas se desarrollan los **pajonales de carrizo** que pueden encontrarse temporalmente cubiertos por agua. Estos pajonales presentaron una cobertura total del 98%. Estructuralmente, se registró un estrato herbáceo superior dominado por *H. pernanbucence* con una altura promedio de 1.55 metros y una cobertura media del 98%, pudiendo presentarse un estrato herbáceo inferior con una cobertura inferior al 3% (Figuras 12 y 13). Las especies acompañantes más importantes fueron *Polygonum stelligerum* y *Mikania* sp.

Dentro de las comunidades que se desarrollan en ambientes en los que el sustrato se mantiene más regularmente saturado con agua se encuentran comunidades de especies arraigadas como los **catayzales** dominados por *Polygonum paraguayense*. Esta comunidad presentó una cobertura total promedio del 78% y, generalmente, desde el punto de vista estructural presentó un único estrato dominado por *P. paraguayense* con una altura media de 1.25 metros (Figuras 12 y 13). En ocasiones, esta comunidad está acompañada por especies flotantes tales como *Pistia stratiotes* y *Salvinia biloba*. Por otro lado, dentro de estos ambientes se presentan **catayzales** dominados por *Polygonum hydropiperoides*. Esta comunidad presentó una cobertura total promedio del 80%, exhibiendo estructuralmente dos estratos herbáceos. El

estrato más alto se encontró dominado por *P. hydropiperoides* presentando una altura media de 0.23 metros y una cobertura promedio del 13%. Por otro lado, el otro estrato presentó una altura media de 0.06 metros y una cobertura promedio del 65% (Figuras 12 y 13). Las especies acompañantes más importantes en esta comunidad fueron *Pistia stratiotes*, *Salvinia biloba*, *Enydra anagallis* y *Limnobium laevigatum*. Otra de las comunidades que se encuentra en estos ambientes, en las zonas circundantes a las lagunas y en las depresiones que se forman entre los albardones, son los verdolagales de *Ludwigia* sp. los cuales se desarrollan sobre un sustrato fino en cuerpos de agua que llegan a secarse en períodos de estiaje. A pesar de que los verdolagales (estas comunidades no se expresaron en los momentos en los que se realizaron los trabajos de campo) no han sido representados en los censos, constituyen una comunidad importante en el sitio de estudio. En esta comunidad, *L. peploides* cubre el suelo formando una población pura, o bien, puede estar acompañada por otras especies como *Gymnocoronis spilanthoides*.

Dentro de las comunidades arbustivas podemos encontrar los **varillales**, los cuales constituyen parches de plantas arraigadas acompañadas por algunas especies flotantes. Esta comunidad, dominada por *Solanum glaucophyllum*, presentó una cobertura total promedio del 70% presentándose dos estratos. El estrato superior presentó una altura media de 2.4 metros y una cobertura promedio del 40% (Figuras 12 y 13). Por otro lado, el estrato constituido por las especies flotantes presentó una cobertura promedio del 62%. En ocasiones puede presentarse un estrato herbáceo con una cobertura promedio del 10% (Figura 12). En relación con los valores de abundancia y cobertura, las especies acompañantes más importantes fueron *Salvinia biloba*, *Azolla filiculoides* y *Thalia geniculata*, siendo *Ludwigia peploides* y *Polygonum hydropiperoides* las especies con mayor grado de constancia dentro de la comunidad (Tabla 6). Por otro lado, dentro de las comunidades herbáceas se encuentran los **juncuales**. Esta comunidad presentó una cobertura total promedio del 87%, siendo *Schoenoplectus californicus* la especie dominante. Estructuralmente, se presentaron dos estratos. Por un lado, el estrato superior se encontró dominado por el junco presentando una altura media de 2.17 metros y una cobertura promedio del 37% (Figuras 12 y 13). Por otro lado, el estrato representado por las especies flotantes presentó una cobertura promedio del 68%, cubriendo gran parte del estrato inferior. Ocasionalmente se puede presentar un estrato medio con una cobertura del

5%. Las especies con mayor constancia dentro de la comunidad fueron *Azolla filiculoides*, *Pistia stratiotes* y *Ludwigia peploides* (Tabla 6).

En los cuerpos de agua libre se encuentran comunidades acuáticas flotantes con especies que presentan adaptaciones que les permiten crecer totalmente libres o bien, arraigarse al sustrato. Dentro de este grupo encontramos los **camalotales** en donde *Pontederia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Azolla filiculoides* y *Salvinia* sp. crecen formando un tapiz más o menos puro o mezcladas. Dentro de la Reserva se presentaron camalotales con una cobertura total promedio del 89%. Estructuralmente, se registraron dos estratos herbáceos con una cobertura promedio del 88% y 33%, y una altura media de 0.13 y 0.01 metros respectivamente (Figuras 12 y 13). En esta comunidad *P. crassipes* resultó ser la especie dominante, estando acompañada por *Salvinia biloba*, *P. stratiotes* y *A. filiculoides*. Con respecto a las especies acompañantes más importantes desde el punto de vista de la constancia podemos mencionar a *S. biloba*, *Ludwigia peploides*, *Polygonum hydropiperoides* y *Myriophyllum aquaticum* (Tabla 6).

Dentro de las comunidades flotantes se encuentran los **embalsados** que se desarrollan formando un tapiz muy denso con una elevada cobertura y una composición de especies propia. Estas islas flotantes presentaron una cobertura total promedio del 97%, siendo *Senecio bonariensis* la especie dominante. Estructuralmente, la comunidad presentó dos estratos: el estrato superior con una cobertura promedio del 70% y una altura media de 0.6 metros y, por otro lado, el estrato inferior presentó una altura media de 0.04 metros y una cobertura promedio del 40% (Figuras 12 y 13). Las especies acompañantes más importantes fueron *Myriophyllum aquaticum*, *Ludwigia peploides*, siendo *Cyperus aff odoratus* una especie constante y fiel a esta comunidad (Tabla 6). Asimismo, *Ludwigia bonariensis* y *Ludwigia leptocarpa* fueron especies que, a pesar de tener baja constancia dentro de la comunidad, se encontraron completamente ausentes en las otras comunidades vegetales (Tabla 6).

Existen en la Reserva otras unidades de vegetación que se encuentran poco representadas y, por lo tanto, en ellas se realizó un menor número de censos. Dentro de este **grupo de comunidades acuáticas** se incluyeron el Pistizal dominado por *Pistia stratiotes* con una cobertura total del 90%, una comunidad caracterizada por la presencia de especies sumergidas con una cobertura total menor al 5% dominada por *Ceratophyllum demersum*, una comunidad de especies

flotantes con una cobertura total del 50% dominada por *Azolla filiculoides* y, por último, un pastizal dominado por *Louisiella elephantipes* el cual presentó una cobertura total del 80%. En la Figura 14 se puede observar la transecta de vegetación paralela a la pasarela de visitas presente en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”.

El sitio de estudio presenta una gran heterogeneidad ambiental que puede verse reflejada en los patrones de distribución de las distintas comunidades vegetales (Figura 15). El análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) de los censos basado en la composición de las especies presentó un valor de Stress del 0.0995. Esta estadística, es una medida de la bondad de ajuste del ordenamiento, es decir, una medida de la diferencia existente entre las disimilitudes originales de “Bray-Curtis” y las distancias que se obtienen en el plano del ordenamiento.

A partir del NMDS (Figura 15-a) se agruparon por un lado los censos de las comunidades herbáceas de menor porte y acuáticas y por otro, los censos de las comunidades leñosas y las comunidades herbáceas de alto porte. También se separaron los censos de las comunidades herbáceas de alto porte (pajonal de paja de techar, pajonal de carrizo y pajonal mixto) de los censos de las comunidades leñosas (bosque alto, timbozal de timbó colorado y de timbó blanco, ceibal, espinillar y sabana de espinillo). *Sida rhombifolia* (Sidrho), *Parietaria debilis* (Pardeb), *Jaborosa integrifolia* (Jabint), *Solanum pilcomayense* (Solpil) y *Steinchisma laxa* (Stelax) son especies acompañantes del sotobosque de las comunidades leñosas. Dentro de los pajonales, *Eleocharis aff minima* (Elemin), *Polygonum stelligerum* (Polste) y *Mimosa vellosiella* (Mimvel) son especies exclusivas de los mismos. Por otro lado, dentro de las comunidades herbáceas de bajo porte y acuáticas, encontramos como especies asociadas de estas comunidades a *Ludwigia peploides* (Ludpep), *Salvinia biloba* (Salbil), *Pistia stratiotes* (Pisstr), *Limnobium laevigatum* (Limlae), *Myriophyllum aquaticum* (Myraqu), *Azolla filiculoides* (Azofil), *Ricciocarpos natans* (Ricnat), *Solanum glaucophyllum* (Solgla), *Louisiella elephantipes* (Louele) y *Pontederia crassipes* (Poncra) (Figura 15-b).

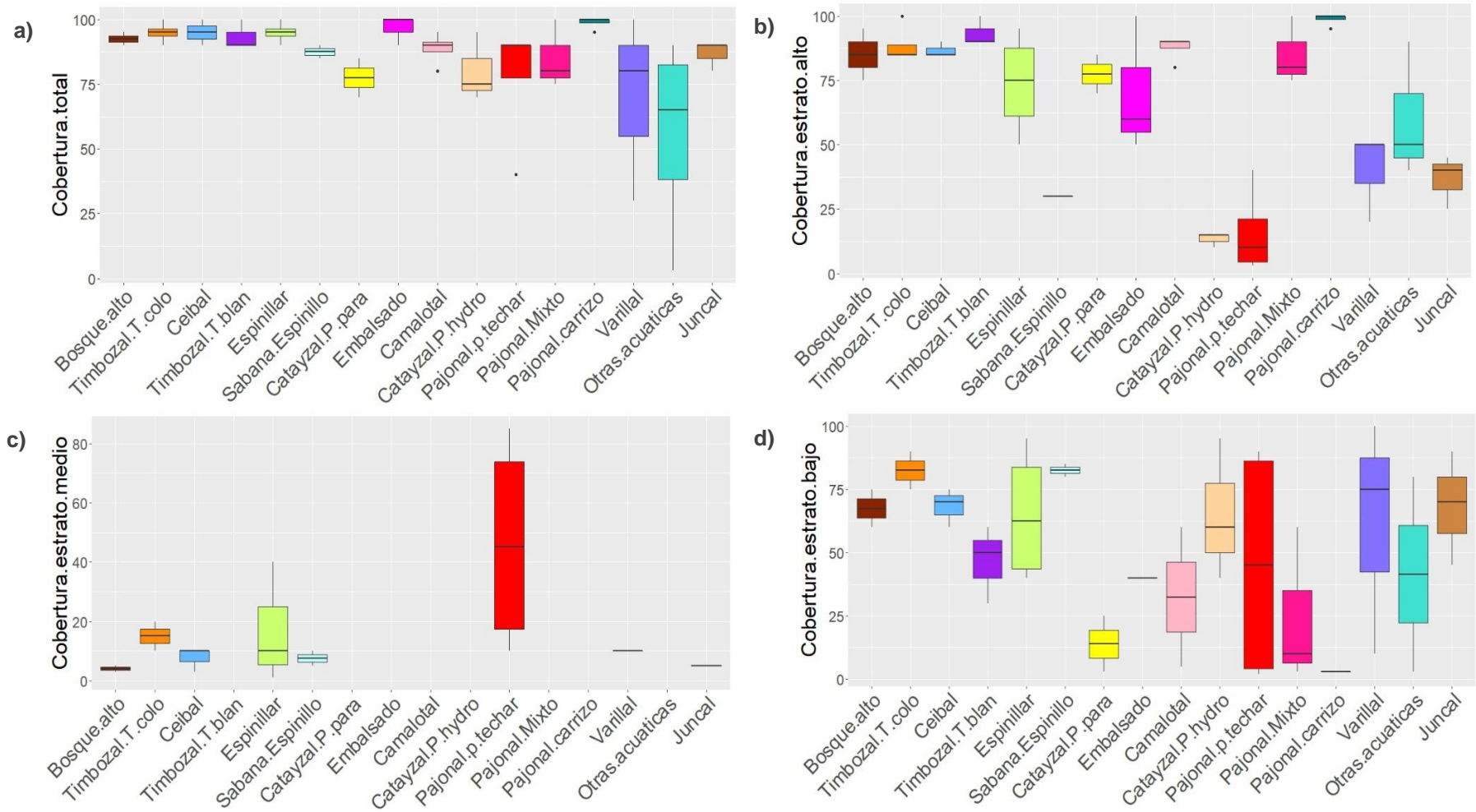


Figura 12. Diagramas de cajas que muestran en el eje de las abscisas las distintas comunidades y en el eje de las ordenadas el porcentaje de la cobertura total (a) y la cobertura del estrato alto (b), medio (c) y bajo (d) para cada comunidad. En los diagramas, las cajas abarcan el percentil 25%, la mediana y el percentil 75%, los bigotes (superior e inferior) en cuyos extremos se encuentran los puntos mínimos y máximos y los puntos aislados que son valores atípicos.

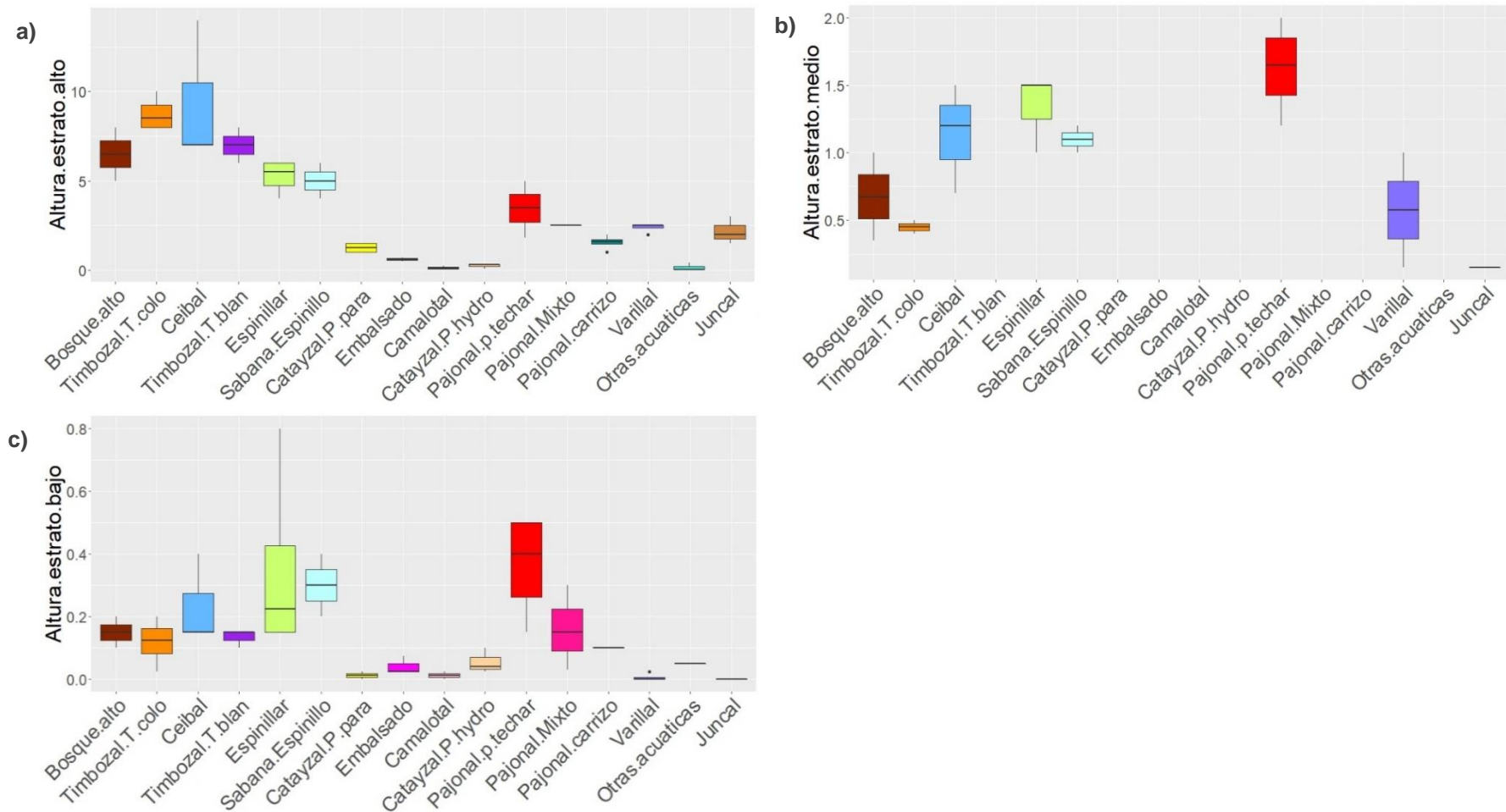


Figura 13. Diagramas de cajas que muestran en el eje de las abscisas las distintas comunidades y en el eje de las ordenadas la altura en metros del estrato alto (a), medio (b) y bajo (c) de cada comunidad. En los diagramas, las cajas abarcan el percentil 25%, la mediana y el percentil 75%, los bigotes (superior e inferior) en cuyos extremos se encuentran los puntos mínimos y máximos y los puntos aislados que son valores atípicos.

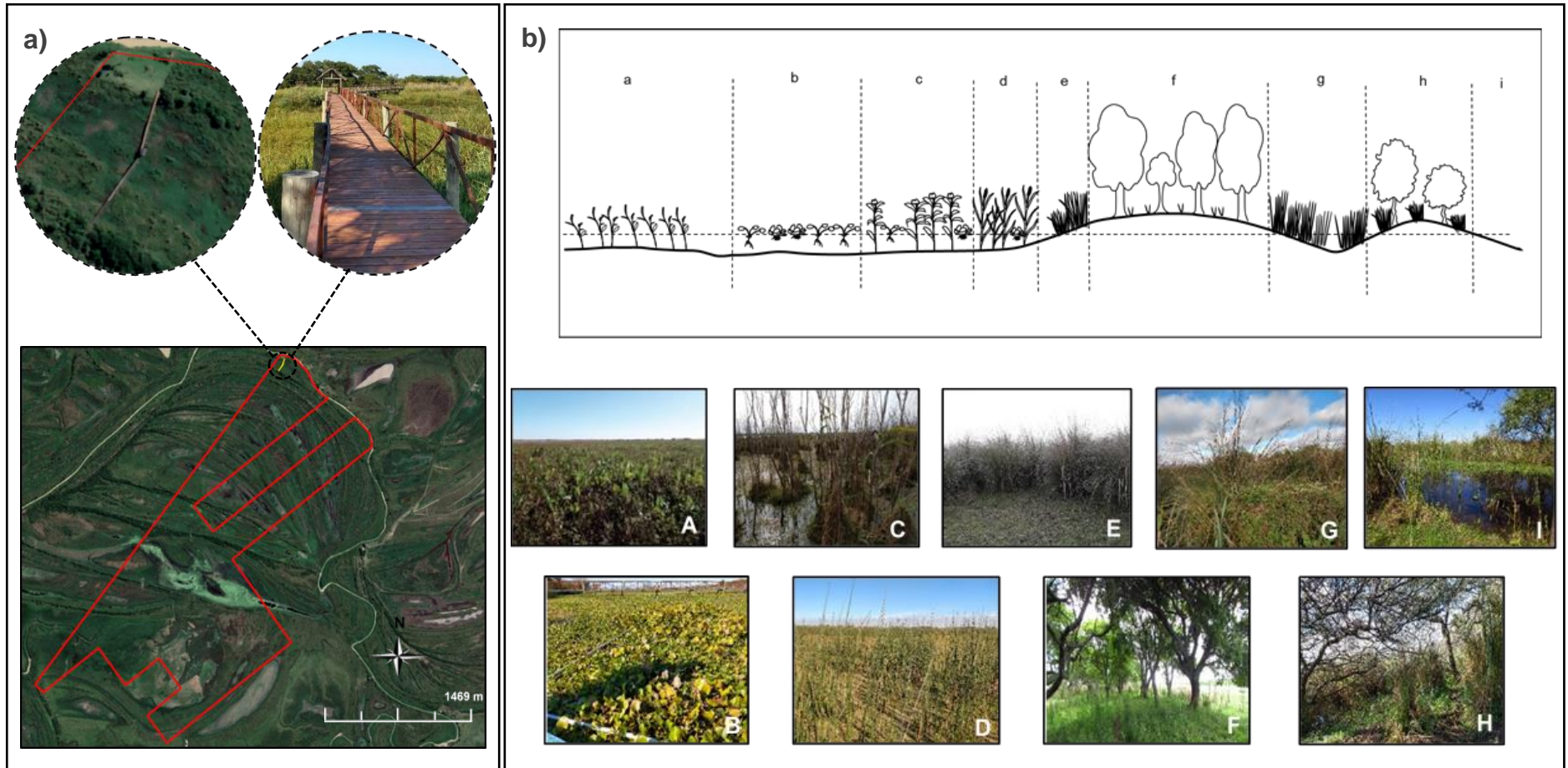


Figura 14. Transecta de vegetación, aproximadamente 130 metros de largo, paralela a la pasarela de visitas presente en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”. a) Ubicación de la transecta sobre una imagen satelital disponible en Google Earth correspondiente al 18 de marzo de 2020. b) Se muestran algunas de las comunidades que se encontraron en la Reserva ordenadas en un gradiente topográfico. La línea de puntos horizontal representa el nivel del agua. A) Catayzal de *Polygonum hydropiperoides*, B) Flotantes, C) Varillal, D) Juncal, E) Pajonal de paja de techo, F) Bosque, G) Pajonal de carrizo, H) Sabana de espinillo (Gentileza de José Luis Vesprini).

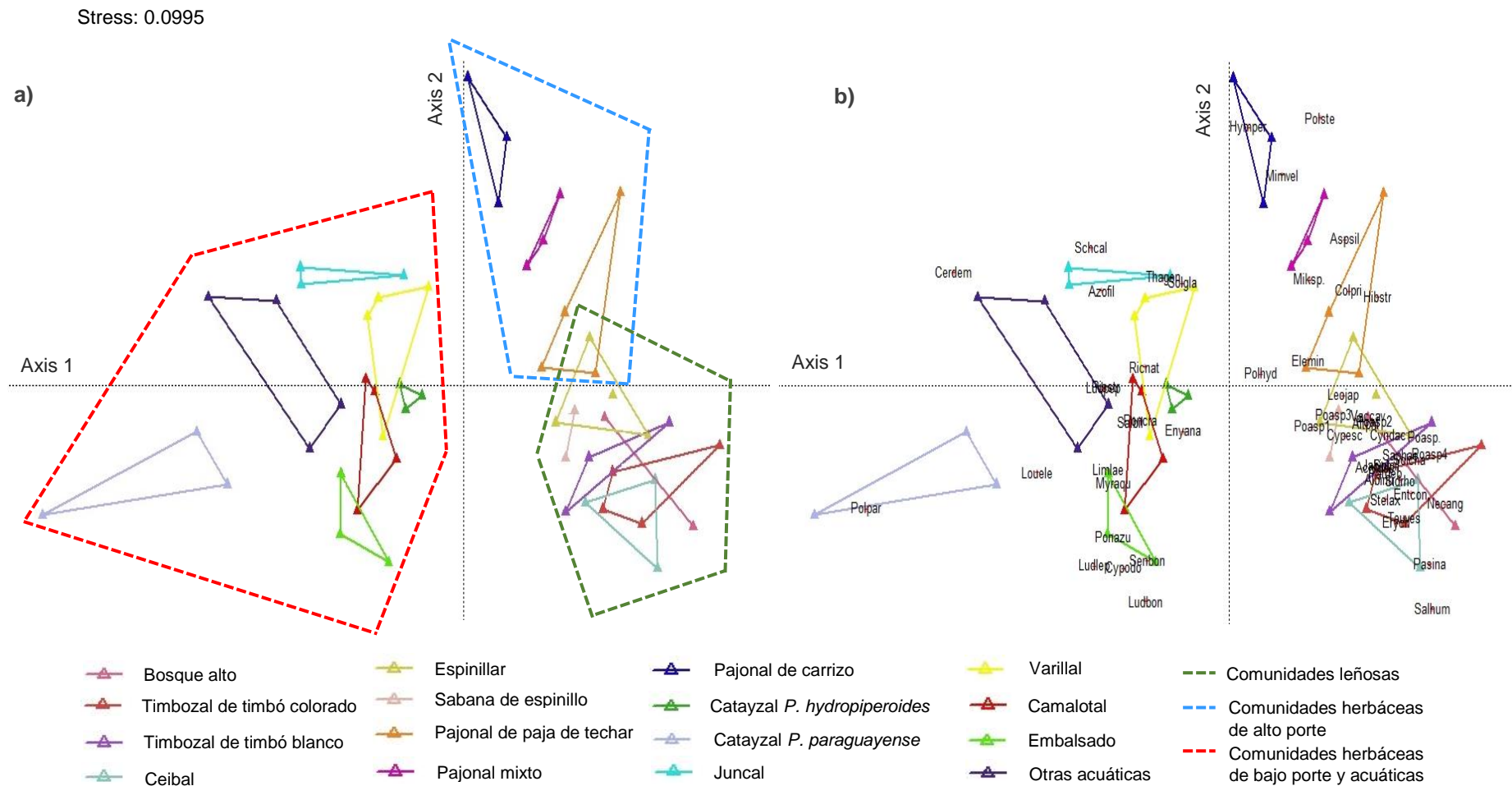















Figura 15. Análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS) basado en el índice de disimilitud de “Bray-Curtis” aplicado a los censos realizados (a) y composición de especies de las comunidades (b) identificadas en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”. Para ambas figuras, los polígonos de líneas continuas corresponden a las 16 comunidades presentes en el área de estudio, mientras que los censos de cada comunidad se representan en los vértices de cada polígono como triángulos. En la figura (a) los 3 polígonos de líneas discontinuas corresponden a los distintos grupos de comunidades.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN DE LA “RESERVA MUNICIPAL LOS TRES CERROS”

Los distintos mapas resultantes de la clasificación no supervisada (Figura A1) no lograron describir la distribución espacial de las distintas comunidades vegetales presentes en el área de estudio ya que lo observado y registrado a campo no se relacionaba con los mapas obtenidos.

Debido a lo mencionado anteriormente, a partir de una clasificación supervisada (Figura 16) se logró obtener el primer mapa que describe con detalle la distribución espacial de la vegetación (comunidades) de la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”. En el mismo, podemos visualizar que los cuerpos de agua comprendieron la mayor extensión de la Reserva, ocupando una superficie total de 82.38 ha. Asimismo, la categoría que alberga a los camalotales, varillales y juncales constituyó el conjunto de comunidades que presentó la mayor extensión dentro de la Reserva (Tabla 7).

Tabla 7. Superficie que abarca cada una de las unidades homogéneas definidas en la clasificación supervisada sobre la imagen Sentinel-2.

COLOR	CATEGORÍA	SUP (HA)
	Agua	82.38
	Timbozal de timbó colorado	21.29
	Ceibal	1.31
	Espinillar	6.47
	Timbozal de timbó blanco	14.81
	Pajonal de paja de techar	33.49
	Pajonal de carrizo	42.08
	Pajonal mixto	35.52
	Embalsado	17.26
	Camalotal, Varillal y Juncal	71.19
	Catayzal de <i>P. paraguayense</i>	16.49
	Catayzal de <i>P. hydropiperoides</i>	29.88
	Sabana de espinillo	4.54

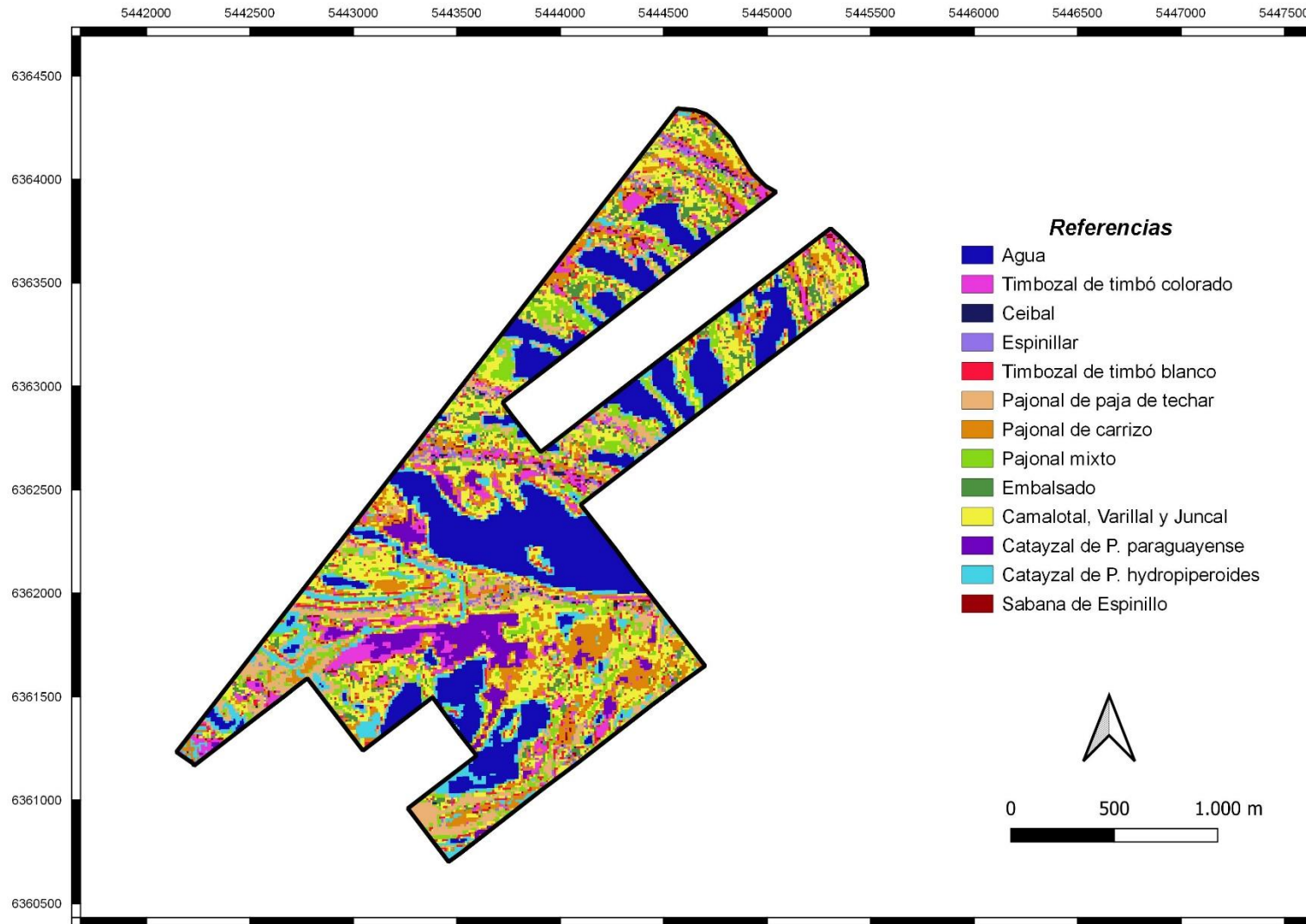


Figura 16. Mapa de la distribución espacial de las distintas comunidades vegetales y cuerpos de agua presentes en la Reserva obtenido a partir de la clasificación supervisada de una imagen Sentinel-2, asociada a puntos de referencia y censos de vegetación.

Dentro de las comunidades acuáticas flotantes, además de los camalotales, se presentan los embalsados los cuales comprendieron una superficie total de 17.26 ha.

Sobre los albardones o bancos de arena podemos visualizar las distintas comunidades leñosas presentándose timbozales de timbó colorado, timbozales de timbó blanco, ceibales y espinillares. En términos generales, el timbozal de timbó colorado y el timbozal de timbó blanco fueron las comunidades leñosas que abarcaron mayor superficie dentro de la Reserva, presentando una extensión de 21.29 ha y 14.81 ha respectivamente (Tabla 7). De forma contraria, los espinillares y los ceibales abarcaron menor superficie, presentando los espinillares un área total de 6.47 ha, mientras que, los ceibales comprendieron una superficie inferior de 1.31 ha.

En relación con los distintos tipos de pajonales presentes en el sitio de estudio, se puede observar en la Tabla 7 que los tres pajonales abarcaron una elevada superficie, siendo el pajonal de carrizo el que mayor extensión comprendió, presentando un área total de 42.08 ha. En aquellas áreas de transición o ecotonos entre los pajonales y los espinillares se presentan las sabanas de espinillo las cuales comprendieron una superficie total de 4.54 ha.

Por otro lado, en aquellos ambientes con suelos hidromórficos se presentan los catayzales, los cuales abarcaron una elevada superficie dentro de la Reserva. Los catayzales de *P. hydropiperooides* comprendieron un área total de 29.88 ha, mientras que, los catayzales de *P. paraguayense* cubrieron una superficie un poco menor de 16.49 ha.

La matriz de confusión (Tabla 8) de la clasificación supervisada a partir de la imagen Sentinel-2 ofrece un estadístico Kappa de 0.829. Este índice sugiere una fuerza de concordancia casi perfecta, es decir, que la clasificación logró una fiabilidad notablemente superior a la esperada por una asignación aleatoria de píxeles a las unidades homogéneas. En la matriz se puede observar la correlación y exactitud en la clasificación de las distintas comunidades vegetales y puntos de referencia a campo. Los mayores errores de omisión se dieron en la sabana de espinillo (57.1%), ceibal (50%) y pajonal de paja de techar (42.1%), mientras que los mayores errores de comisión se presentaron en el ceibal (50%).









DATOS DE LA CLASIFICACIÓN	DATOS DE REFERENCIA													TOTAL MAPA	Exactitud productor	Error omisión
	Agua	Timbozal de timbó colorado	Ceibal	Espinillar	Timbozal de timbó blanco	Pajonal de paja de techar	Pajonal de carrizo	Pajonal mixto	Embalsado	Camalotal, Varillal y Juncal	Cat. <i>P. hydropiperoides</i>	Cat. <i>P. paraguayense</i>	Sabana de espinillo			
Agua	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	100.0%	0.0%
Timbozal de timbó colorado	0	13	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	17	76.5%	23.5%
Ceibal	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	50.0%	50.0%
Espinillar	0	0	1	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	7	71.4%	28.6%
Timbozal de timbó blanco	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	100.0%	0.0%
Pajonal de paja de techar	0	2	0	0	1	11	1	0	0	2	2	0	0	19	57.9%	42.1%
Pajonal de carrizo	0	0	0	1	0	0	9	0	1	1	1	0	0	13	69.2%	30.8%
Pajonal mixto	0	0	0	1	0	1	0	9	0	0	2	0	0	13	69.2%	30.8%
Embalsado	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	100.0%	0.0%
Camalotal, Varillal y Juncal	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	0	0	0	11	90.9%	9.1%
Cat. <i>P. hydropiperoides</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	9	100.0%	0.0%
Cat. <i>P. paraguayense</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	13	100.0%	0.0%
Sabana de espinillo	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7	42.9%	57.1%
TOTAL CAMPO	50	21	4	8	3	12	10	9	8	14	14	13	4	170		
Exactitud usuario	100.0%	61.9%	50.0%	62.5%	66.7%	91.7%	90.0%	100.0%	62.5%	71.4%	64.3%	100.0%	75.0%			
Error comisión	0.0%	38.1%	50.0%	37.5%	33.3%	8.3%	10.0%	0.0%	37.5%	28.6%	35.7%	0.0%	25.0%			

Índice de Kappa = 0,829

Tabla 8. Matriz de confusión utilizada para analizar la fiabilidad de la clasificación supervisada realizada sobre una imagen Sentinel-2 para la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”.

Por otro lado, al visualizar los mapas de ambientes resultantes, se puede evidenciar un claro contraste entre años. Para el año seco (Figura 17, mapa de ambientes ubicado a la izquierda), la superficie cubierta por agua abarcó una extensión total de 120.1 ha, mientras que, la vegetación acuática comprendió un área total de 45.66 ha. La superficie restante, constituida por 210.24 ha comprendió comunidades vegetales terrestres, albardones y extensiones cubiertas por arena o suelo desnudo. En contraposición, el año húmedo (Figura 17, mapa de ambientes ubicado a la derecha), presentó una clara diferencia con respecto a la superficie cubierta por agua. Estos cuerpos cubrieron una extensión total de 292.94 ha, es decir, un incremento de 172.84 ha (144%) con respecto al año seco (Tabla 9). Si bien los albardones no se vieron afectados por el período de creciente, se puede observar en el mapa que muchas de las comunidades vegetales que se encontraban distribuidas dentro del sitio de estudio para el año seco, se presentaron cubiertas por agua para el año húmedo. Tal es el caso del pajonal de carrizo el cual se redujo un total de 2.32 ha, abarcando una superficie total de 4.77 ha para el año húmedo (Tabla 9). Cabe destacar que, la ausencia del catayzal de *P. paraguayense* para el año húmedo podría deberse a la época estacional (invierno) en la cual fue capturada la imagen y no una respuesta, en este caso, al período de creciente del caudal del río.

Tabla 9. Comparación de las superficies cubiertas por los cuerpos de agua, albardones, playas de arena, suelo desnudo y diferentes comunidades para el año seco y año húmedo.

COLOR	CATEGORÍA	AÑO SECO (SUP)	AÑO HÚMEDO (SUP)
	Cuerpos de agua	120.1 ha	292.94 ha
	Albardones	31.58 ha	31.58 ha
	Playa de arena	17.27 ha	-
	Suelo desnudo	23.99 ha	4.52 ha
	Vegetación acuática	45.66 ha	8.37 ha
	Pajonal mixto	1.41 ha	1.41 ha
	Pajonal de carrizo	7.09 ha	4.77 ha
	Catayzal de <i>P. paraguayense</i>	5.75 ha	-

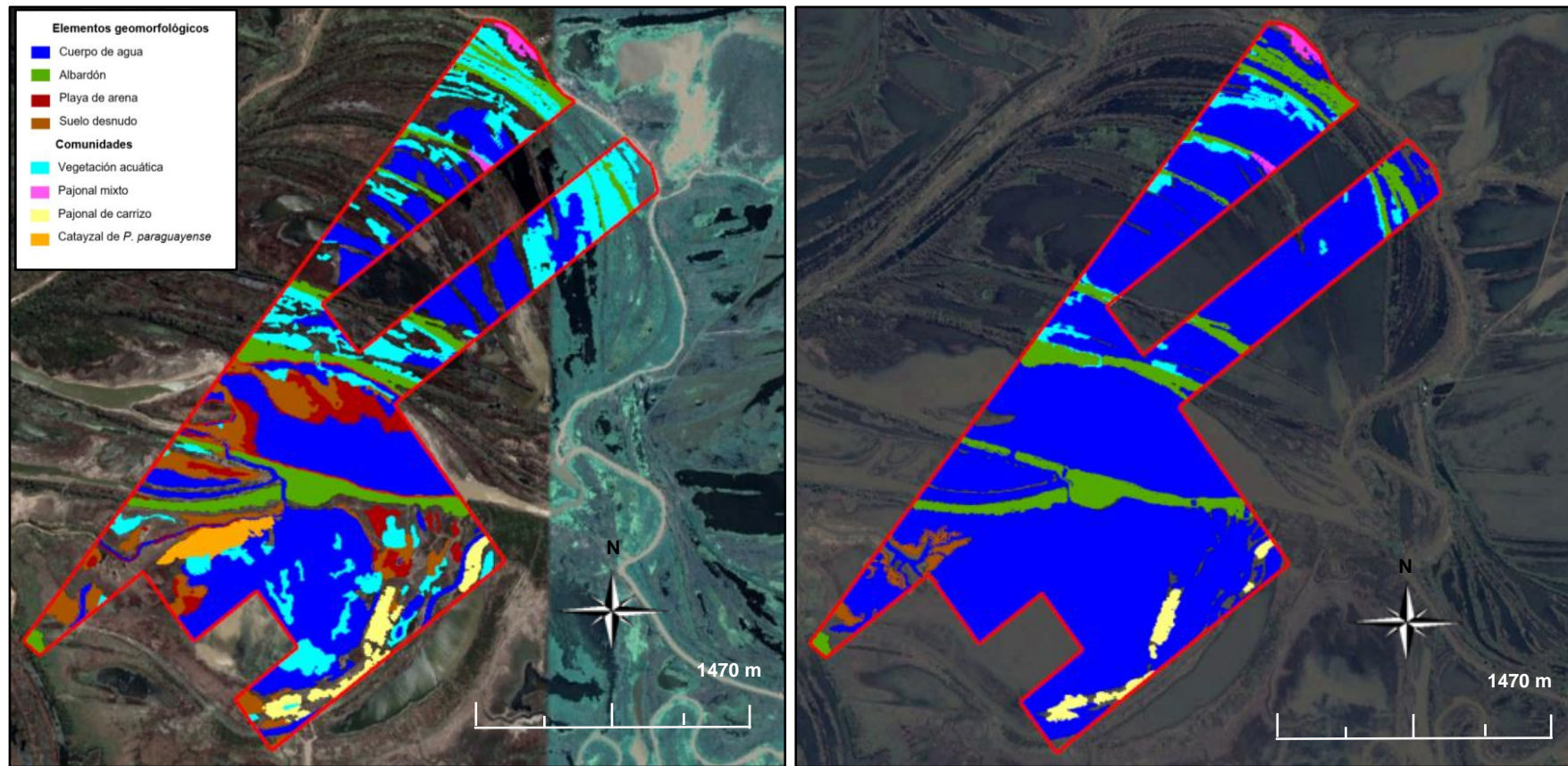


Figura 17. Mapa de ambientes de la Reserva sobre imágenes satelitales disponibles en Google Earth para un período seco (02/09/2019) a la izquierda en contraposición con un período húmedo (08/08/2016) a la derecha. En el mapa se visualizan algunos elementos geomorfológicos y algunas comunidades vegetales observadas en el sitio de estudio. En ambos mapas, se ha demarcado con rojo los límites de la Reserva.

Asimismo, al observar el mapa se puede evidenciar una diferencia en la extensión comprendida por las comunidades de ambientes acuáticos entre años. Para el año húmedo, estas comunidades ocuparon una superficie total de 8.37 ha lo que implica una reducción del 82% respecto al año seco, en el cual abarcaron una superficie total de 45.66 ha (Tabla 9).

Por otro lado, la superficie de suelo desnudo (a esta categoría corresponden porciones del terreno que no tienen vegetación en superficie pero que poseen un suelo arcilloso) para el año húmedo abarcó un total de 4.52 ha, presentando una reducción del 81% con respecto al año seco. También, es importante remarcar la ausencia de playas de arena (sectores de suelo desnudo linderos a los cuerpos de agua que forman parte del lecho de ríos y lagunas) para el año húmedo, las cuales abarcaron una superficie de 17.27 ha para el año seco.

DISCUSIÓN

LA VEGETACIÓN DE LA “RESERVA MUNICIPAL LOS TRES CERROS”

En la “Reserva Municipal Los Tres Cerros” se encontraron 95 géneros pertenecientes a 41 familias, dentro de las cuales *Poaceae*, *Fabaceae*, *Asteraceae*, *Cyperaceae*, *Solanaceae*, *Lamiaceae*, *Polygonaceae* y *Convolvulaceae* constituyen las familias más representativas dentro del sitio de estudio. Resultados similares se vieron reflejados en estudios semejantes llevados a cabo por Aceñolaza y Muñoz (2003), Marchetti y Aceñolaza (2011), Aceñolaza *et al.* (2004, 2005 y 2008) los cuales remarcan que las primeras tres familias mencionadas anteriormente (*Poaceae*, *Fabaceae* y *Asteraceae*) comprenden la mayor riqueza de especies, estando representadas solo unas pocas especies en el resto de las familias identificadas.

LAS COMUNIDADES VEGETALES DE LA “RESERVA MUNICIPAL LOS TRES CERROS”

Como resultado de la gran heterogeneidad ambiental que presentan estos ecosistemas es posible sostener una gran diversidad de comunidades vegetales (Malvárez *et al.*, 1992; Aceñolaza *et al.*, 1999). Conforme a lo estudiado por Franceschi y Lewis (1979), en la Reserva se identificaron comunidades arbóreas, arbustivas y herbáceas. Al igual que Marchetti y Aceñolaza (2012), se identificó la presencia de las comunidades arbóreas en las posiciones topográficas más altas y, en las posiciones más bajas donde el anegamiento del suelo es frecuente, las comunidades herbáceas.

En la Reserva, 16 comunidades vegetales fueron descritas presentando cada una, una fisonomía y composición específica concreta. Al igual que lo descrito por Malvárez (1997), en los albardones de mayor desarrollo se estableció el bosque alto denominado por diversos autores (Morello, 1949; Burkart, 1957) como “Bosque fluvial”. En la región de estudio, éste se caracterizó por la asociación de *Nectandra angustifolia*, *Erythrina crista-galli*, *Sapium haemospermum* y *Enterolobium contortisiliquum*. Esta comunidad presentó un estrato arbóreo de gran altura y un estrato herbáceo muy tupido, siendo estos resultados semejantes a los observados por Morello (1949). Por otro lado, el timbozal de timbó colorado constituyó una comunidad claramente definida. Esta comunidad boscosa se encontró dominada por *Enterolobium contortisiliquum* y presentó una cobertura total elevada. No se

presentan antecedentes bibliográficos de esta comunidad probablemente por la gran complejidad que presenta el sistema, así como también, por la dificultad de acceder a determinadas áreas de la isla. De igual forma que lo reportado por Morello (1949), Burkart (1957) en los albardones internos *Albizia inundata* se vio acompañada de algunos individuos de *Sapium haemospermum* y *Vachellia caven*. El timbozal de timbó blanco se presentó en un único albardón dentro de los límites de la Reserva. Es importante destacar que en ninguno de los dos tipos de timbozales se presentaron asociados *E. contortisiliquum* y *A. inundata*. Por otro lado, los ceibales dominados por *E. crista-galli* constituyeron bosques abiertos, casi puros, coincidiendo esta observación con lo descrito por Morello (1949).

Conforme con lo reportado por Malvárez (1997), en las áreas altas y medias lomas se establecieron espinillares dominados por *Vachellia caven*. En algunos censos *V. caven* se vio acompañada por especies leñosas tales como *Erythrina crista-galli* y *Nectandra angustifolia*. Por otro lado, las sabanas de espinillo se presentaron como una zona de transición entre el pajonal de paja de techar y el espinillar. El estrato arbóreo de esta comunidad estuvo constituido principalmente por *V. caven* distribuyéndose de forma discontinua en el espacio, mientras que el estrato medio se vio dominado por *Coleataenia prionitis* presentando una cobertura de baja densidad.

Los pajonales del Delta constituyen comunidades extensas y variadas (Burkart, 1957). En la Reserva, fue posible identificar tres tipos de pajonales diferentes los cuales se distribuyen según la posición topográfica. En aquellos suelos relativamente altos se establecieron los pajonales cuyo elemento dominante fue *C. prionitis*. Al igual que lo descrito por Franceschi *et al.* (1985), *Polygonum hydropiperoides* resultó ser una especie relativamente constante. Según Franceschi *et al.* (1985), Marchetti y Aceñolaza (2011) esta comunidad presenta la mayor riqueza específica y constituye probablemente una de las comunidades más estables de la isla. Por otro lado, se presentó el pajonal mixto formado por la coexistencia de *Hymenachne pernanbucence* y *C. prionitis*. Debido a que *C. prionitis* no resiste largos períodos de inundación, en las zonas más bajas se encontraron los pajonales de carrizo cuyo elemento dominante fue *H. pernanbucence*.

Al igual que lo reportado por Malvárez (1997), en las posiciones topográficas bajas con aguas poco profundas se encontraron catayzales en los que dominan distintas especies del género *Polygonum*. Dentro de la región de estudio, se identificaron dos

tipos: catayzales de *P. hydropiperoides* y catayzales de *P. paraguayense*. Acorde con lo descrito por Franceschi *et al.* (1985), tanto *Ludwigia peploides* así como *Mikania* sp. constituyeron especies frecuentes en los catayzales, presentándose ambas en el catayzal de *P. hydropiperoides*. Según Franceschi *et al.* (1985), los catayzales junto con los pajonales dominados por *C. prionitis* constituyen las comunidades que ocupan la mayor parte de las islas.

Por otro lado, conforme a lo descrito por Malvárez (1997) en lagunas o cauces semisecos durante el período de estiaje se presentan los verdolagales de *Ludwigia* sp. A pesar de que esta comunidad no se pudo observar en el momento en el cual se realizaron los censos, constituye una comunidad importante en el sitio de estudio.

Al igual que Franceschi *et al.* (1985), Malvárez (1997) dentro de las comunidades arbustivas se identificó la presencia de varillales en áreas planas de suelos anegables que sufren inundaciones anuales. En esta comunidad predominó de forma imperante *S. glaucophyllum* el cual forma densos manchones con sus tallos erectos. En aquellas zonas de aguas un poco más profundas se encontraron los juncales. Si bien la cobertura del estrato superior dominado por *S. californicus* fue bajo, la cobertura total de la comunidad fue elevada presentando un 87%. Resultados similares fueron descritos por Franceschi *et al.* (1985) en la parte central de isla Campo Rico.

En los cuerpos de agua libre se registraron camalotales donde *Pontederia crassipes* resultó ser la especie dominante, estando acompañada por *Salvinia biloba*, *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides*. Estas dos últimas especies presentaron un alto grado de constancia en la comunidad, siendo estos resultados semejantes a los observados por Burkart (1957). Por otro lado, dentro de las comunidades flotantes se presentaron los embalsados formando verdaderos colchones de vegetación. En el sitio de estudio, estas islas flotantes presentaron una cobertura total elevada, siendo *Senecio bonariensis* la especie dominante. *S. bonariensis* constituye la especie de mayor porte que comúnmente se encuentra en los embalsados descritos por Tur (1972) en la región del Paraná Medio.

Entre las unidades de vegetación poco representadas en el área de estudio, se encontraron dos comunidades de flotantes libres muy importantes según Franceschi y Lewis (1979). Por un lado, en los cuerpos de agua lénticos y poco profundos se presentaron los repollares de *Pistia stratioides*. Esta comunidad es muy dinámica y

suele ser reemplazada eventualmente por camalotales de *Pontederia crassipes*. Por otro lado, en aquellas zonas protegidas del viento se observó la presencia de *Azolla filiculoides* y *Salvinia* sp. Tal como describe Franceschi y Lewis (1979), estas especies se pueden encontrar juntas o separadas y suelen mezclarse con otras comunidades al ser arrastradas por el viento. Por otro lado, conforme con lo observado por Morello (1949), dentro de la vegetación sumergida se encontraron plantas sumergidas tales como *Ceratophyllum demersum* en aquellos ambientes con escasa corriente. Por otra parte, al igual que Franceschi y Lewis (1979), en aquellas áreas poco profundas durante los períodos de crecida del río se establecieron canutillares de gramíneas flotantes arraigadas, siendo la dominante fisonómica *Louisiella elephantipes*.

Es importante destacar que dentro de la región de estudio no se registraron sauzales de *Salix humboldtiana* ni alisales de *Tessaria integrifolia*. Esto probablemente se deba a que estas comunidades conforme a lo descrito por Morello (1949), Marchetti y Aceñolaza (2011), Marchetti *et al.* (2013) se ubican en bancos e islas de reciente formación, albardones del cauce principal, albardones marginales y albardones de arroyos tributarios; mientras que, tal como describen Marchetti y Aceñolaza (2011), Marchetti *et al.* (2013) los bosques que se encontraron en la Reserva son bosques que se asocian a meandros abandonados en las partes más internas de la isla.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN DE LA “RESERVA MUNICIPAL LOS TRES CERROS”

Durante las últimas décadas, muchos estudios de humedales han utilizado la teledetección para profundizar en el conocimiento de estos ecosistemas (Rundquist *et al.*, 2001; Guo *et al.*, 2017; Kandus *et al.*, 2018). Debido a que éstos presentan determinadas áreas de difícil acceso, la teledetección además de ofrecer ventajas dentro de las cuales se incluye una vista sinóptica, recopilación de datos multiespectrales, cobertura multitemporal y ser relativamente económico, constituye una herramienta útil para estudiar estos entornos permitiendo adquirir información en escalas más amplias (Rundquist *et al.*, 2001).

Para el presente estudio, los mapas resultantes de la clasificación no supervisada a partir de la imagen Sentinel-2 y los mosaicos aerofotográficos no permitieron describir con detalle la distribución espacial de las comunidades vegetales ya que lo observado y registrado a campo no se relacionó con la información provista por las

clasificaciones resultantes. Se debe reconocer que particularmente en los mosaicos aerofotográficos, la fenología o el estado de desarrollo de las comunidades no era equivalente a lo observado en el campo debido al momento de captura distinto.

Por lo mencionado anteriormente, se realizó una clasificación supervisada a partir de la imagen Sentinel-2, en virtud de que era la imagen más adecuada por su ubicación temporal. Según Drusch *et al.* (2012) la misión Sentinel-2 presenta un alto potencial para mapeo, monitoreo y gestión de recursos naturales al ofrecer imágenes de acceso libre con una alta resolución espacial y temporal. Actualmente, existen numerosos antecedentes bibliográficos (Kaplan y Avdan, 2017; Chymyrov *et al.* 2018; Perea-Ardila *et al.*, 2019) en los cuales a partir de la utilización de imágenes multiespectrales Sentinel-2 han logrado el mapeo y monitoreo de estos macrosistemas fluviales.

El mapa final de la distribución espacial de las comunidades vegetales presentes en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros” constituye un producto de alto valor para los procesos de conservación y gestión de las contribuciones de la naturaleza hacia las personas y recursos naturales presentes en el sitio de estudio. En el mapa, el conglomerado formado por los camalotales, varillales y juncales, así como también, los tres tipos de pajonales comprendieron las comunidades que mayor superficie abarcaron dentro de la Reserva. Además, los cuerpos de agua ocuparon una elevada extensión para el momento en el cual fueron realizados los censos.

Si bien el mapa resultante constituye un gran aporte al conocimiento, si se incorporara un mayor número de censos por comunidad se podrían mejorar sensiblemente los resultados de la clasificación, obteniéndose un mapa con un mayor grado de detalle de la distribución de las comunidades vegetales. En los últimos tiempos, existen numerosos antecedentes bibliográficos (Lozano-Garcia y Hoffer, 1993; Dobson *et al.*, 1995; Amarsaikhan y Douglas, 2004; Bwangoy *et al.*, 2010; Zhang, 2010; Stratoulis *et al.*, 2015; Kaplan y Avdan, 2018) que han demostrado que la combinación de imágenes ópticas e imágenes de radar de apertura sintética (SAR - Synthetic Aperture Radar) generan un efecto sinérgico que permite una identificación más precisa de los tipos de cobertura vegetal en comparación con los resultados obtenidos a partir de los datos proporcionados por los sensores individuales. Yesou *et al.* (2016) y Kaplan y Avdan (2018) han obtenido resultados significativos en la clasificación de la estructura de estos macrosistemas, al fusionar datos ópticos de Sentinel-2 y datos de radar de Sentinel-1.

Por otro lado, en relación a los mapas de ambientes realizados, se visualizó un claro contraste entre el año seco respecto al año húmedo, presentando este último un incremento del 144% de la extensión total de los cuerpos de agua. Estos resultados reflejan al igual que Franceschi *et al.* (2000, 2005 y 2010) la importancia de la variabilidad temporal de las superficies cubiertas por agua dentro de estos ecosistemas. Tal como describen Amarasekera *et al.* (1997), Latrubesse *et al.* (2005) los ríos tropicales presentan una gran variabilidad en sus caudales a lo largo del tiempo. Según Depetris y Kempe (1990), el rango de variación del caudal del río Paraná puede variar ampliamente a lo largo del tiempo y asociado a esto, tal como describe Borro *et al.* (2014), la superficie cubierta por agua. En la Reserva a pesar de que los albardones no se vieron afectados en el período de crecida del caudal del río, muchas de las comunidades vegetales que se encontraban distribuidas dentro del sitio de estudio para el año seco se presentaron cubiertas por agua para el año húmedo.

Como contribución para futuras investigaciones orientadas a la conservación y manejo de la Reserva resulta interesante sugerir la posibilidad de delimitar Unidades de Paisaje a partir de la agrupación de las categorías definidas en los distintos mapas resultantes del presente trabajo. Cada Unidad de Paisaje estaría definida por patrones de paisaje, régimen hidrológico y tipo de vegetación predominante (Malvárez, 1999; Kandus *et al.*, 2006).

En el presente trabajo se presentaron ciertos desafíos y complejidades para realizar el mapa de distribución espacial de las comunidades vegetales presentes en el sitio de estudio. El mapeo de humedales a partir de sistemas de percepción remota puede verse obstaculizado por tres factores principales. En primer lugar, los humedales presentan una gran diversidad vegetal constituyendo sistemas muy complejos. Los mismos sostienen comunidades que pueden estar dominadas por una o varias especies o bien, por una mezcla heterogénea de diversas especies y formas de vida (Gallant, 2015; McCarthy *et al.*, 2018). En segundo lugar, las propiedades de reflectancia y dispersión de energía son alteradas sustancialmente debido a las interacciones entre las condiciones ambientales y las condiciones altamente dinámicas en la disponibilidad de humedad y el desarrollo de la vegetación. Los humedales se encuentran fuertemente condicionados por el régimen hidrológico y, su variación influye en la abundancia relativa de especies y en la dinámica de la vegetación (Gallant, 2015). Los cambios estacionales o diarios del

nivel hídrico provocan que las firmas espectrales de los humedales sean altamente dinámicas (Ludwig *et al.*, 2019). Por último, en ocasiones la capacidad de resolución espacial de los sensores remotos no es suficiente para captar con detalle la respuesta energética de las zonas de transición o ecotonos de las comunidades en estos macrosistemas (Gallant, 2015). Se ha demostrado que el mapeo preciso de humedales es más efectivo a partir de la utilización de imágenes satelitales de alta resolución, es decir con píxeles de 2 metros, en comparación con las imágenes que presentan una resolución de 30 metros o más (McCarthy *et al.*, 2018). La diversidad espectral dentro de los humedales es tan significativa (Chen *et al.*, 2015) que al utilizar sensores que presentan una resolución espacial menor causan una mezcla espectral al capturar múltiples hábitats en un solo píxel, lo cual reduce la exactitud de la clasificación de la cobertura del suelo (McCarthy *et al.*, 2018).

CONCLUSIÓN

El presente estudio constituye el primer aporte descriptivo de la composición florística y la distribución espacial de la vegetación en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”. En este trabajo se describieron las comunidades vegetales presentes en la Reserva, teniendo en cuenta su fisonomía y composición específica. Entre las comunidades identificadas se encontraron: el bosque alto, timbozal de timbó colorado, ceibal, timbozal de timbó blanco, espinillar, sabana de espinillo, pajonal de paja de techar, pajonal mixto, pajonal de carrizo, catayzal de *P. hydropiperoides*, embalsado, camalotal, catayzal de *P. paraguayense*, varillal, juncal y otras acuáticas.

Asimismo, gracias a que la Teledetección proporciona herramientas que posibilitan la adquisición de información espacial y temporal sobre los humedales se obtuvo la primera cartografía que describe la distribución de las comunidades vegetales presentes en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”. Sin dudas, la Teledetección como disciplina científica-tecnológica constituye un instrumento de gran valor para el mapeo y monitoreo de estos macrosistemas.

Por último, se aspira a que el presente trabajo constituya una herramienta de gran valor para la conservación y manejo racional y sustentable de los recursos naturales y diversidad biológica que alberga la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”.

FINANCIACIÓN

Los cruces en embarcación realizados para la toma de datos de la presente Tesina fueron financiados a partir de un Convenio firmado el 12 de diciembre de 2018 entre la Municipalidad de Rosaio, Secretaría de Ambiente y Espacio Público y, la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario (Decreto N° 2743). El resto de los recursos financieros se obtuvieron del subsidio vigente obtenido para el Proyecto Unidades Ejecutoras: "Agricultura sustentable en ecosistemas de la región chaco-pampeana" (CODIGO P-UE: 22920160100043CO. IICAR-CONICET. 2017-2021) y el proyecto "Estructura y dinámica de comunidades Chaco-Pampeanas" (AGR290).

Por otro lado, el trabajo de gabinete fue realizado en la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNR, la cual cuenta con los equipos necesarios: estufas, lupas y balanzas, así como equipamiento informático y software para el análisis de la información.

BIBLIOGRAFÍA

- Aceñolaza PG, Muñoz JDD, Zanello R. 1999. Flora y vegetación del Parque Nacional Pre Delta. Reuniones de comunicaciones de la Asociación Biológica del Litoral. Santa Fe.
- Aceñolaza PG, Muñoz JDD. 2003. Flora del Parque Nacional Pre-Delta (Entre Ríos, Argentina). Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal, Córdoba, 38, 219.
- Aceñolaza PG, Povedano HE, Manzano AS, Muñoz J de D, Areta JI, Ronchi Virgolini AL. 2004. Biodiversidad del Parque Nacional Pre-Delta. Miscelánea 12: 169-184.
- Aceñolaza P, Sione WF, Kalesnik F, Serafini MC. 2005. Determinación de unidades homogéneas de vegetación en el Parque Nacional Pre-Delta (Argentina). Miscelánea 14: 81-90.
- Aceñolaza P, Manzano A, Rodríguez E, Sánchez L, Ronchi Virgolini AL, Giménez E, Demonte D, Marchetti Z. 2008. Biodiversidad de la región superior del Complejo Deltaico del Río Paraná. Miscelánea 17: 127-152.
- Amarasekera K, Lee RF, Williams ER, Eltahir E. 1997. ENSO and natural variability in the flow of tropical rivers. Journal of Hydrology 200: 24-39.
- Amarsaikhan D, Douglas T. 2004. Data fusion and multisource image classification. International Journal of Remote Sensing 25: 3529–353.
- Antico A, Diaz HF. 2020. Why was the Paraná flood of 2016 weaker than that of 1998?. International Journal of Climatology 40: 604-609.
- Arbo MM, Tressens SG. 2002. Flora del Iberá. Corrientes. Eudene. p. 613.
- Avilés-Ramírez GA, Ruíz-Iriarte S, Castellot-Pedraza V, Chan-Uc DM, Guerrero-Turriza HO. 2017. Uso del Google Earth™ para evaluar la pérdida de cubierta vegetal en Chiná, Campeche, México. Agroproductividad 10: 73-78.
- Baigún CR, Puig A, Minotti PG, Kandus P, Quintana R, Vicari R, Bo R, Oldani NO, Nestler JA. 2008. Resource use in the Parana River Delta (Argentina): moving away from an ecohydrological approach? Ecohydrology & Hydrobiology 8: 245-262.
- Benzaquén L, Blanco DE, Bó RF, Kandus P, Lingua GF, Minotti P, Quintana SS, Vidal L. 2013. Inventario de los humedales de Argentina: Sistemas de paisajes

- de humedales del Corredor Fluvial Paraná-Paraguay. Buenos Aires. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. p. 376.
- Bonetto AA., Neiff JJ, Di Persia DH. 1986. The Paraná River system. En: Davies B.R., Walker K.F. (eds). *The Ecology of River Systems*. Monographiae Biologicae 60: 541–598. Springer, Dordrecht.
- Bonfils CG. 1962. Los suelos del Delta del Río Paraná. Factores generadores, clasificación y uso. *Revista de Investigaciones Agrícolas* 16: 257-370.
- Borro M, Morandeira N, Salvia M, Minotti P, Perna P, Kandus P. 2014. Mapping shallow lakes in a large South American floodplain: a frequency approach on multitemporal Landsat TM/ETM data. *Journal of Hydrology* 512: 39-52.
- Braun Blanquet J. 1979. *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Madrid. Blume. p. 820.
- Burkart A. 1957. Ojeada sinóptica sobre: La vegetación del Delta del Río Paraná. *Darwiniana* 11: 457-561.
- Burkart A. 1969-1974. *Flora ilustrada de Entre Ríos, Argentina*. Buenos Aires. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Colección científica. Tomos I-VI.
- Bwangoy JRB, Hansen MC, Roy DP, De Grandi G, Justice CO. 2010. Wetland mapping in the Congo Basin using optical and radar remotely sensed data and derived topographical indices. *Remote Sensing of Environment* 114: 73-86.
- Cabrera AL, Zardini EM. 1993. *Manual de la flora de los alrededores de Buenos Aires*. Buenos Aires. ACME S.A. p. 755.
- Casco SL, Basterra de Chiozzi NI, Neiff JJ. 2005. La vegetación como indicador de la Geomorfología Fluvial. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 1: 123-136.
- Cerda J, Villarroel Del L. 2008. Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista chilena de pediatría* 79: 54-58.
- Chen J, Chen J, Liao A, Cao X, Chen L, Chen X, He C, Han G, Peng S, Lu M, Zhang W, Tong X, Mills J. 2015. Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 103: 7–27.
- Chen Z, White L, Banks S, Behnamian A, Montpetit B, Pasher J, Duffe J, Bernard, D. 2020. Characterizing marsh wetlands in the Great Lakes Basin with C-band InSAR observations. *Remote Sensing of Environment* 242: 111750.
- Chuvienco E. 1995. *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid. RIALP S.A. p. 451.

- Chymyrov A, Betz F, Baibagyshov E, Kurban A, Cyffka B, Halik U. 2018. Floodplain forest mapping with Sentinel-2 imagery: case study of Naryn River, Kyrgyzstan. En Egamberdieva D, Öztürk M (eds): Vegetation of Central Asia and Environs. Springer, Cham. p. 335-347.
- Cingolani AM, Renison D, Zak MR, Cabido MR. 2004. Mapping vegetation in a heterogeneous mountain rangeland using Landsat data: an alternative method to define and classify land-cover units. *Remote Sensing of Environment* 92: 84-97.
- Cohen J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement* 20: 37-46.
- Congalton RG. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 37: 35-46.
- Congedo L. 2013. Semi-automatic classification plugin for QGIS. Sapienza University. p. 1-25.
- Depetris PJ, Kempe S. 1990. The impact of the El Niño 1982 event on the Paraná river, its discharge and carbon transport. *Global and Planetary Change* 3: 239-244.
- Díaz S, Pascual U, Stenseke M, Martín-López B, Watson RT, Molnár Z, Hill R, Chan KMA, Baste IA, Brauman KA, Polasky S, Church A, Lonsdale M, Larigauderie A, Leadley PW, Van Oudenhoven APE, Van Der Plaats F, Schröter M, Lavorel S, Aumeeruddy-Thomas Y, Bukvareva E, Davies K, Demissew S, Erpul G, Failler P, Guerra CA, Hewitt CL, Keune H, Lindley S, Shirayama Y. 2018. Assessing nature's contributions to people. *Science* 359: 270-272.
- Dobson MC, Ulaby FT, Pierce LE. 1995. Land-cover classification and estimation of terrain attributes using synthetic aperture radar. *Remote Sensing of Environment* 51: 199-214.
- Drusch M, Del Bello U, Carlier S, Colin O, Fernandez V, Gascon F, Hoersch B, Isola C, Laberinti P, Martimort P, Meygret A, Spoto F, Sy O, Marchese F, Bargellini P. 2012. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment* 120: 25–36.
- Duda RO, Hart PE, Stork DG. 2001. *Pattern classification*. New York. John Wiley & Sons. p. 654.
- Franceschi EA, Lewis JP. 1979. Notas sobre la vegetación del valle santafesino del río Paraná (República Argentina). *Ecosur* 6: 55-82.

- Franceschi EA, Prado DE, Lewis JP. 1985. Comunidades vegetales y mapa de vegetación: reserva El Rico e islas aledañas (Santa Fe). Rosario. Universidad Nacional de Rosario. p. 40.
- Franceschi EA, Lewis JP. 1991. Early stages in the Paraná river tall grassland recovery after an extraordinary flood. *Coenoses* 6: 47-52.
- Franceschi EA, Torres PS, Prado DE, Lewis JP. 2000. Disturbance, succession and stability: a ten year study of temporal variation of species composition after a catastrophic flood in the river Paraná, Argentina. *Community Ecology* 1: 205-214.
- Franceschi EA, Torres PS, Lewis JP. 2005. Recovery and stability of Paraná river floodplain grasslands twenty years after a catastrophic flood. *Community Ecology* 6: 209-217.
- Franceschi EA, Torres PS, Lewis JP. 2010. Diversidad de la vegetación durante su recuperación tras una creciente extraordinaria del Río Paraná Medio (Argentina). *Revista de Biología Tropical* 58: 707-716.
- Fraser LH, Keddy PA. 2005. *The World's largest wetlands: Ecology and conservation*. Cambridge. Cambridge University Press. p. 488.
- Gallant A. 2015. The challenges of remote monitoring of wetlands. *Remote Sensing* 7: 10938–10950.
- Gatebe CK, King MD. 2016. Airborne spectral BRDF of various surface types (ocean, vegetation, snow, desert, wetlands, cloud decks, smoke layers) for remote sensing applications. *Remote Sensing of Environment* 179: 131-148.
- Gottgens JF, Perry JE, Fortney RH, Meyer JE, Benedict M, Rood BE. 2001. The Paraguay-Paraná Hidrovía: Protecting the Pantanal with lessons from the past: Large-scale channelization of the northern Paraguay-Paraná seems to be on hold, but an ongoing multitude of smaller-scale activities may turn the Pantanal into the next example of the “tyranny of small decisions”. *BioScience* 51: 301-308.
- Guo M, Li J, Sheng C, Xu J, Wu L. 2017. A review of wetland remote sensing. *Sensors* 17: 777.
- Hall A, Thomas RF, Wassens S. 2019. Mapping the maximum inundation extent of lowland intermittent riverine wetland depressions using LiDAR. *Remote Sensing of Environment* 233: 111376.
- Honkavaara E, Markelin L. 2007. Radiometric performance of digital image data collection. A comparison of ADS40/DMC/UltraCam and EmergeDSS,

- photogrammetric week. (Fritsch, D., Ed.), Wichmann Verlag, Heidelberg, Germany. p. 117-129.
- Hudson W, Ramm C. 1987. Correct formula of the Kappa Coefficient of Agreement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 53: 421-422.
- Instituto Geográfico Nacional. 2020. Sistemas aerofotogramétricos. <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Fotogrametria/VuelosFotogrametricos>. Acceso: 3 de abril de 2020.
- Instituto Nacional del Agua. 2019a. Informe hidrológico: Litoral, cuenca del río Uruguay y cuenca del río Iguazú. https://www.hidraulica.gob.ar/informe_hidrologico_20191211.pdf
- Instituto Nacional del Agua. 2019b. Posibles escenarios hidrológicos en la cuenca del plata durante el período noviembre-diciembre 2019 y enero 2020. <https://www.ina.gov.ar/trunk/archivos/Escenario2019noviembre.pdf>
- Isla FI. 2018. ENSO-triggered floods in South America: correlation between maximum monthly discharges during strong events. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*: 1-13.
- Junk WJ. 2013. Current state of knowledge regarding South America wetlands and their future under global climate change. *Aquatic Sciences* 75: 113-131.
- Junk WJ, An S, Finlayson CM, Gopal B, Květ J, Mitchell SA, Mitsch WJ, Robarts RD. 2013. Current state of knowledge regarding the world's wetlands and their future under global climate change: a synthesis. *Aquatic Sciences* 75: 151-167.
- Kandus P, Quintana RD, Bó RF. 2006. Patrones de paisaje y Biodiversidad del Bajo Delta del Río Paraná. *Mapa de ambientes*. Buenos Aires. p. 48.
- Kandus P, Minotti PG, Morandeira NS, Grimson R, Gonzalez Trilla G, González EB, San Martín L, Gayol MP. 2018. Remote sensing of wetlands in South America: status and challenges. *International Journal of Remote Sensing* 39: 993-1016.
- Kaplan G, Avdan U. 2017. Mapping and monitoring wetlands using Sentinel-2 satellite imagery. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 4: 271-277.
- Kaplan G, Avdan U. 2018. Sentinel-1 and Sentinel-2 data fusion for mapping and monitoring wetlands. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-3*: 729-734.
- Keddy, PA. 2000. *Wetland ecology. Principles and conservation*. Cambridge. Cambridge University Press. p. 628.

- Kiesling R. 2009. Flora de San Juan, República Argentina, Volumen IV: Monocotiledóneas. Mendoza. Fundación Universidad Nacional de San Juan. p. 435.
- Landis JR, Koch GG. 1977. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics* 33: 363-374.
- Latrubesse EM, Stevaux JC, Sinha R. 2005. Tropical rivers. *Geomorphology* 70: 187-206.
- Lewis JP, Franceschi EA, Prado DE. 1987. Effects of extraordinary floods on the dynamics of tall grasslands of the river Paraná valley. *Phytocoenologia* 15: 235-251.
- Li M, Zang S, Zhang B, Li S, Wu C. 2014. A review of remote sensing image classification techniques: the role of spatio-contextual information. *European Journal of Remote Sensing* 47: 389-411.
- Li Y, Tische T, Horn SP, Li Y, Chen R, Orvis KH. 2019. Mapping glacial landforms on the Chirripó massif, Costa Rica, based on Google Earth, a digital elevation model, and field observations. *Revista Geológica de América Central* 60: 101-114.
- Liotta J, Demonte LD, Mantinian J. 2020. Efectos de la bajante extraordinaria 2019-2020 sobre la comunidad de peces de ambientes del valle aluvial del Paraná inferior. Datos provenientes del proyecto EBIPES. Informe Técnico nº 54 de la Dirección de Planificación y Gestión de Pesquerías, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Bs. As. p. 12.
- Lozano-Garcia DF, Hoffer RM. 1993. Synergistic effects of combined Landsat-TM and SIR-B data for forest resources assessment. *International Journal of Remote Sensing* 14: 2677-2694.
- Ludwig C, Walli A, Schleicher C, Weichselbaum J, Riffler M. 2019. A highly automated algorithm for wetland detection using multi-temporal optical satellite data. *Remote Sensing of Environment* 224: 333-351.
- Malvárez AI, Kandus P, Merler JA. 1992. Evaluación y diagnóstico del Parque Nacional "Predelta La Azotea". UBA-APN. Inf. Ined. p. 22.
- Malvárez AI. 1997. Las comunidades vegetales del delta del Río Paraná. Su relación con factores ambientales y patrones de paisaje. Buenos Aires. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires.

- Malvárez AI. 1999. El Delta del Río Paraná como mosaico de humedales. Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica 1: 35-54.
- Manly BF. 2003. Multivariate statistical methods: a primer. CRC press. p. 325.
- Marchetti ZY, Aceñolaza P. 2005. Detección satelital y descripción de patrones de vegetación en islas del Paraná Medio. Instituto Superior de Correlación Geológica, Serie Miscelanea 14: 151-158.
- Marchetti ZY, Aceñolaza PG. 2011. Vegetation communities and their relationship with the pulse regime on islands of the Middle Paraná River, Argentina. Iheringia, Serie Botánica 66: 209-226.
- Marchetti ZY, Aceñolaza PG. 2012. Pulse regime and vegetation communities in fluvial systems: The case of the Parana River floodplain, Argentina. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants 207: 795-804.
- Marchetti ZY, Latrubesse EM, Pereira MS, Ramonell CG. 2013. Vegetation and its relationship with geomorphologic units in the Parana River floodplain, Argentina. Journal of South American Earth Sciences 46: 122-136.
- Marchetti ZY, Minotti PG, Ramonell CG, Schivo F, Kandus P. 2016. NDVI patterns as indicator of morphodynamic activity in the middle Paraná River floodplain. Geomorphology 253: 146-158.
- Matteucci SD, Colma A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Washington. Secretaría General de la Organización de los Estados Unidos. p. 163.
- McCarthy MJ, Radabaugh KR, Moyer RP, Muller-Karger FE. 2018. Enabling efficient, large-scale high-spatial resolution wetland mapping using satellites. Remote Sensing of Environment 208: 189-201.
- Mitchell SA. 2013. The status of wetlands, threats and the predicted effect of global climate change: the situation in Sub-Saharan Africa. Aquatic Sciences 75: 95-112.
- Mitsch WJ, Gosselink JG. 2007. Wetlands. New York. John Wiley & Sons, Inc. p. 582.
- Molina AM, Rógolo de Agrasar ZE. 2006. Flora chaqueña argentina (Formosa, Chaco y Santiago del Estero): familia gramíneas. Buenos Aires. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Colección científica. Tomo I- VIII.
- Morandeira NS, Kandus P. 2015. Multi-scale analysis of environmental constraints on macrophyte distribution, floristic groups and plant diversity in the Lower Paraná River floodplain. Aquatic Botany 123: 13-25.

- Moreira MA. 2001. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologías de aplicação. São José dos campos: INPE. p. 250.
- Morello J. 1949. Las comunidades vegetales de las islas cercanas al puerto de Rosario. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata.
- Morello J, Matteucci SD, Rodríguez AF, Silva M. 2018. Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Orientación Gráfica. p. 800.
- Navarro A, Young M, Allan B, Carnell P, Macreadie P, Ierodiaconou D. 2020. The application of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) to estimate above-ground biomass of mangrove ecosystems. *Remote Sensing of Environment* 242: 111747.
- Neiff JJ. 1990. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciencia* 15: 424-441.
- Neiff JJ, Malvárez AI. 2004. Grandes humedales fluviales. En Malvárez I, Bó RF (comps.): Documentos del Curso Taller Bases ecológicas para la clasificación e inventario de humedales en Argentina. Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires - RAMSAR - US Fish and Wildlife Service - U.S. Department of State. p. 77-85.
- Niclòs R, Estrella MJ, Valiente JA, Barberà MJ. 2010. Clasificación periódica de coberturas terrestres a escala regional con imágenes MODIS. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* 10: 1-17.
- Oyarzabal M, Clavijo J, Oakley L, Biganzoli F, Tognetti P, Barberis I, Maturo HM, Aragón R, Campanello PI, Prado D, León RJC, Oesterheld M. 2018. Unidades de vegetación de la Argentina. *Ecología Austral* 28: 40-63.
- Perea-Ardila MA, Oviedo-Barrero F, Leal-Villamil J. 2019. Cartografía de bosques de manglar mediante imágenes de sensores remotos: estudio de caso Buenaventura, Colombia. *Revista de Teledetección* 53: 73-86.
- Pasotti P, Canoba CA, Catalani WR. 1976. Aerofotointerpretación de un sector del delta entrerriano. Rosario. Instituto de Fisiografía y Geología. Publicaciones XL. p. 38.
- Perelman SB, Batista WB, León RJ. 2005. El estudio de la heterogeneidad de la vegetación. *Fitosociología y técnicas relacionadas*. Oesterheld, M.; M. Aguiar; C. Ghera y JM Paruelo (Comp.) La heterogeneidad de la vegetación de los

- agroecosistemas, un homenaje a Rolando JC Leon. Ed. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- QGIS Development Team. 2020. QGIS geographic information system. Open source geospatial Foundation project.
- Rivas-Rodríguez L, Alcaide-Orpí JF. 2018. Transformaciones de las superficies de arena y de vegetación de manglar en la playa La Puntilla y la laguna Salada, Santa Fe, La Habana, Cuba. *Serie Oceanológica* 16: 8-20.
- Rundquist DC, Narumalani S, Narayanan RM. 2001. A review of wetlands remote sensing and defining new considerations. *Remote Sensing Reviews* 20: 207-226.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2019. Boletín Climatológico - Agosto 2019. Vol. XXXI. <https://www.smn.gob.ar/sites/default/files/Clim-Ago2019.pdf>
- Song XP, Hansen MC, Stehman SV, Potapov PV, Tyukavina A, Vermote EF, Townshend JR. 2018. Global land change from 1982 to 2016. *Nature* 560: 639-643.
- Stratoulías D, Balzter H, Sykioti O, Zlinszky A, Tóth VR. 2015. Evaluating sentinel-2 for lakeshore habitat mapping based on airborne hyperspectral data. *Sensors* 15: 22956-22969.
- The R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R version 3.6.2. The R. Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria.
- Tiner RW. 1997. NWI maps: what they tell us. *National Wetland Newsletter* 19: 7–12.
- Townsend PA. 2002. Estimating forest structure in wetlands using multitemporal SAR. *Remote Sensing of Environment* 79: 288-304.
- Tur NM. 1972. Embalsados y camalotales de la región isleña del Paraná Medio. *Darwiniana* 17: 397-407.
- Van der Maarel E. 1979. Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. *Vegetatio* 39: 97-114.
- Weiher E, Keddy P. 2001. *Ecological assembly rules: perspectives, advances, retreats*. Cambridge. Cambridge University Press. p. 418.
- Yesou H, Pottier E, Mercier G, Grizonnet M, Haouet S, Giros A, Faivre R, Huber C, Michel J. 2016. Synergy of Sentinel-1 and Sentinel-2 imagery for wetland monitoring information extraction from continuous flow of sentinel images applied to water bodies and vegetation mapping and monitoring. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. p. 162-165.

- Yichun X, Zongyao S, Mei Y. 2008. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology* 1: 9–23.
- Zhang J. 2010. Multi-source remote sensing data fusion: status and trends. *International Journal of Image and Data Fusion* 1: 5–24.
- Zuloaga FO, Nicora EG, Rógolo de Agrasar ZE, Morrone O, Pensiero J, Cialdella AM. 1994. Catálogo de la familia Poaceae en la República Argentina. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 47: 1-178.
- Zuloaga FO, Morrone O. 1996. Catálogo de las plantas vasculares de la República Argentina. Pteridophyta, Gymnospermae y Angiospermae (Monocotyledoneae). *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 60: 1-332.
- Zuloaga FO, Morrone O. 1999. Catálogo de las plantas vasculares de la República Argentina. Dicotyledoneae. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 74: 1-1269.
- Zuloaga FO, Morrone O, Belgrano M. 2008. Catálogo de las plantas vasculares del Cono Sur: (Argentina, sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay) Instituto de Botánica Darwinion.

ANEXO

Tabla A1. Listado en orden alfabético de las especies registradas en los censos de vegetación realizados en la “Reserva Municipal Los Tres Cerros”. Se detallan las familias y el hábito de crecimiento de cada especie.

ESPECIE	FAMILIA	HÁBITO DE CRECIMIENTO
<i>Acmella decumbens</i> (Sm.) R.K. Jansen	<i>Asteraceae</i>	Hierba
<i>Aeschynomene rudis</i> Benth.	<i>Fabaceae</i>	Hierba o subarbusto
<i>Albizia inundata</i> (Mart.) Barneby & J.W. Grimes	<i>Fabaceae</i>	Árbol
<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb. f.	<i>Amaranthaceae</i>	Hierba acuática
<i>Aniseia argentina</i> (N.E. Br.) O'Donell	<i>Convolvulaceae</i>	Enredadera
<i>Apocynaceae</i> sp.	<i>Apocynaceae</i>	Enredadera
<i>Aristolochia</i> sp.	<i>Aristolochiaceae</i>	Hierba
<i>Aspilia silphioides</i> (Hook. & Arn.) Benth. & Hook. f.	<i>Asteraceae</i>	Hierba
<i>Asteraceae</i> sp.	<i>Asteraceae</i>	Hierba
<i>Azolla filiculoides</i> Lam.	<i>Salviniaceae</i>	Hierba acuática
<i>Bidens laevis</i> (L.) Britton, Stern & Poggenb.	<i>Asteraceae</i>	Hierba
<i>Caperonia castaneifolia</i> (L.) A. St.-Hil.	<i>Euphorbiaceae</i>	Hierba
<i>Cardiospermum halicacabum</i> L.	<i>Sapindaceae</i>	Enredadera
<i>Cayaponia podantha</i> Cogn.	<i>Cucurbitaceae</i>	Enredadera
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	<i>Ceratophyllaceae</i>	Hierba acuática
<i>Cissus palmata</i> Poir.	<i>Vitaceae</i>	Enredadera
<i>Coleataenia prionitis</i> (Nees) Soreng	<i>Poaceae</i>	Hierba
<i>Commelina erecta</i> L.	<i>Commelinaceae</i>	Hierba
<i>Convolvulus</i> aff. <i>arvensis</i> L.	<i>Convolvulaceae</i>	Enredadera
<i>Cotula australis</i> (Sieber ex Spreng.) Hook. f.	<i>Asteraceae</i>	Hierba
<i>Croton argenteus</i> L.	<i>Euphorbiaceae</i>	Hierba
<i>Cyclospermum leptophyllum</i> (Pers.) Sprague	<i>Apiaceae</i>	Hierba
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	<i>Poaceae</i>	Hierba
<i>Cyperus</i> aff. <i>eragrostis</i> Lam.	<i>Cyperaceae</i>	Hierba
<i>Cyperus</i> aff. <i>odoratus</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	Hierba palustre
<i>Cyperus esculentus</i> L.	<i>Cyperaceae</i>	Hierba
<i>Cyperus virens</i> Michx.	<i>Cyperaceae</i>	Hierba palustre
<i>Dichanthelium sabulorum</i> (Lam.) Gould & C.A. Clark	<i>Poaceae</i>	Hierba

Tabla A1. Continuación

ESPECIE	FAMILIA	HÁBITO DE CREMIENTO
<i>Dichondra</i> sp.	Convolvulaceae	Hierba
<i>Dicliptera</i> sp.	Acanthaceae	Hierba
<i>Echinochloa crus-pavonis</i> (Kunth) Schult.	Poaceae	Hierba
<i>Echinodorus grandiflorus</i> (Cham. & Schltldl.) Micheli	Alismataceae	Hierba palustre
<i>Eleocharis</i> aff. <i>minima</i> Kunth	Cyperaceae	Hierba palustre
<i>Eleocharis</i> sp.	Cyperaceae	Hierba
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Fabaceae	Árbol
<i>Enydra anagallis</i> Gardner	Asteraceae	Hierba
<i>Erechtites hieraciifolius</i> (L.) Raf. ex DC.	Asteraceae	Hierba
<i>Erythrina crista-galli</i> L.	Fabaceae	Árbol
<i>Funastrum flavum</i> (Decne.) Malme	Apocynaceae	Enredadera
<i>Gomphrena elegans</i> Mart.	Amaranthaceae	Hierba
<i>Gymnocoronis spilanthoides</i> (D. Don ex Hook. & Arn.) DC.	Asteraceae	Hierba
<i>Hemarthria altissima</i> (Poir.) Stapf & C.E. Hubb.	Poaceae	Hierba
<i>Hibiscus striatus</i> Cav.	Malvaceae	Arbusto
<i>Hydrocotyle bonariensis</i> Lam.	Araliaceae	Hierba
<i>Hymenachne pernambucense</i> (Spreng) Zuloaga	Poaceae	Hierba
<i>Ipomoea alba</i> L.	Convolvulaceae	Enredadera
<i>Jaborosa integrifolia</i> Lam.	Solanaceae	Hierba
<i>Lathyrus</i> aff. <i>crassipes</i> Gillies ex Hook. & Arn.	Fabaceae	Hierba
<i>Lathyrus</i> aff. <i>subulatus</i> Lam.	Fabaceae	Hierba
<i>Leonurus japonicus</i> Houtt.	Lamiaceae	Hierba
<i>Lepidium didymum</i> L.	Brassicaceae	Hierba
<i>Lepidium</i> sp.	Brassicaceae	Hierba
<i>Limnobiium laevigatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Heine	Hydrocharitaceae	Hierba acuática
<i>Lippia alba</i> (Mill.) N.E. Br. ex Britton & P. Wilson	Verbenaceae	Arbusto
<i>Louisiella elephantipes</i> (Nees ex Trin.) Zuloaga	Poaceae	Hierba
<i>Ludwigia bonariensis</i> (Micheli) H. Hara	Onagraceae	Hierba
<i>Ludwigia leptocarpa</i> (Nutt.) H. Hara	Onagraceae	Hierba o subarbusto
<i>Ludwigia peploides</i> (Kunth) P.H. Raven	Onagraceae	Hierba
<i>Mikania</i> sp.	Asteraceae	Enredadera

Tabla A1. Continuación

ESPECIE	FAMILIA	HÁBITO DE CREMIENTO
<i>Mimosa pilulifera</i> Benth.	<i>Fabaceae</i>	Arbusto
<i>Mimosa vellosiella</i> Hert.	<i>Fabaceae</i>	Arbusto
<i>Modiolastrum malvifolium</i> (Griseb.) K. Schum.	<i>Malvaceae</i>	Hierba
<i>Morrenia</i> sp.	<i>Apocynaceae</i>	Enredadera
<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verdc.	<i>Haloragaceae</i>	Hierba acuática
<i>Nectandra angustifolia</i> (Schrad.) Nees & Mart.	<i>Lauraceae</i>	Árbol
<i>Nymphoides indica</i> (L.) Kuntze	<i>Menyanthaceae</i>	Hierba acuática
<i>Oplismenopsis najada</i> (Hack. & Arechav.) Parodi	<i>Poaceae</i>	Hierba palustre
<i>Oxalis</i> sp1	<i>Oxalidaceae</i>	Hierba
<i>Oxalis</i> sp2	<i>Oxalidaceae</i>	Hierba
<i>Oxycaryum cubense</i> (Poepp. & Kunth) Palla f.	<i>Cyperaceae</i>	Hierba acuática
<i>Parietaria debilis</i> G. Forst.	<i>Urticaceae</i>	Hierba
<i>Paspalum inaequivalve</i> Raddi	<i>Poaceae</i>	Hierba
<i>Paspalum repens</i> Bergius	<i>Poaceae</i>	Hierba acuática
<i>Passiflora caerulea</i> L.	<i>Passifloraceae</i>	Enredadera
<i>Passiflora misera</i> Kunth	<i>Passifloraceae</i>	Enredadera
<i>Pistia stratiotes</i> L.	<i>Araceae</i>	Hierba acuática
<i>Plagiocheilus tanacetoides</i> Haenke ex DC.	<i>Asteraceae</i>	Hierba
<i>Plantago</i> sp.	<i>Plantaginaceae</i>	Hierba
<i>Poa</i> sp.	<i>Poaceae</i>	Hierba
<i>Poaceae</i> sp1	<i>Poaceae</i>	Hierba
<i>Poaceae</i> sp2	<i>Poaceae</i>	Hierba
<i>Poaceae</i> sp3	<i>Poaceae</i>	Hierba
<i>Poaceae</i> sp4	<i>Poaceae</i>	Hierba
<i>Polygonum hydropiperoides</i> Michx.	<i>Polygonaceae</i>	Hierba
<i>Polygonum paraguayense</i> Wedd.	<i>Polygonaceae</i>	Hierba
<i>Polygonum stelligerum</i> Cham.	<i>Polygonaceae</i>	Hierba
<i>Pontederia azurea</i> Sw.	<i>Pontederiaceae</i>	Hierba acuática
<i>Pontederia cordata</i> L.	<i>Pontederiaceae</i>	Hierba palustre
<i>Pontederia crassipes</i> Mart.	<i>Pontederiaceae</i>	Hierba acuática
<i>Ricciocarpos natans</i> (L.) Corda	<i>Ricciaceae</i>	Hierba acuática
<i>Rumex</i> sp.	<i>Polygonaceae</i>	Hierba

Tabla A1. Continuación

ESPECIE	FAMILIA	HÁBITO DE CREMIENTO
<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	Salicaceae	Árbol
<i>Salvia</i> sp.	Lamiaceae	Hierba
<i>Salvinia biloba</i> Raddi	Salviniaceae	Hierba acuática
<i>Sapium haemospermum</i> Müll. Arg.	Euphorbiaceae	Árbol
<i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A. Mey.) Soják	Cyperaceae	Hierba acuática
<i>Scutellaria</i> aff. <i>platensis</i> Speg.	Lamiaceae	Hierba
<i>Senecio bonariensis</i> Hook. & Arn.	Asteraceae	Hierba
<i>Senecio pterophorus</i> DC.	Asteraceae	Hierba
<i>Senegalia bonariensis</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Seigler & Ebinger	Fabaceae	Árbol
<i>Senna pendula</i> (Willd.) H.S. Irwin & Barneby	Fabaceae	Arbusto
<i>Sesbania virgata</i> (Cav.) Pers.	Fabaceae	Arbusto
<i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguélen	Poaceae	Hierba
<i>Sicyos polyacanthus</i> Cogn.	Cucurbitaceae	Enredadera
<i>Sida rhombifolia</i> L.	Malvaceae	Hierba o subarbusto
<i>Solanum amygdalifolium</i> Steud.	Solanaceae	Arbusto
<i>Solanum chacoense</i> Bitter	Solanaceae	Hierba
<i>Solanum glaucophyllum</i> Desf.	Solanaceae	Arbusto
<i>Solanum pilcomayense</i> Morong	Solanaceae	Hierba o subarbusto
<i>Solanum sisymbriifolium</i> Lam.	Solanaceae	Hierba o subarbusto
<i>Soliva anthemifolia</i> (Juss.) Sweet	Asteraceae	Hierba
<i>Spermacoce verticillata</i> L.	Rubiaceae	Hierba o subarbusto
<i>Stachys arvensis</i> (L.) L.	Lamiaceae	Hierba
<i>Stachys</i> sp.	Lamiaceae	Hierba
<i>Steinchisma laxa</i> (Sw.) Zuloaga	Poaceae	Hierba
<i>Tarenaya hassleriana</i> (Chodat) H.H. Iltis	Cleomaceae	Hierba
<i>Teucrium vesicarium</i> Mill.	Lamiaceae	Hierba
<i>Thalia geniculata</i> L.	Marantaceae	Hierba palustre
<i>Urtica urens</i> L.	Urticaceae	Hierba
<i>Vachellia caven</i> (Molina) Seigler & Ebinger	Fabaceae	Árbol
<i>Verbena bonariensis</i> L.	Verbenaceae	Hierba
<i>Vigna luteola</i> (Jacq.) Benth.	Fabaceae	Hierba

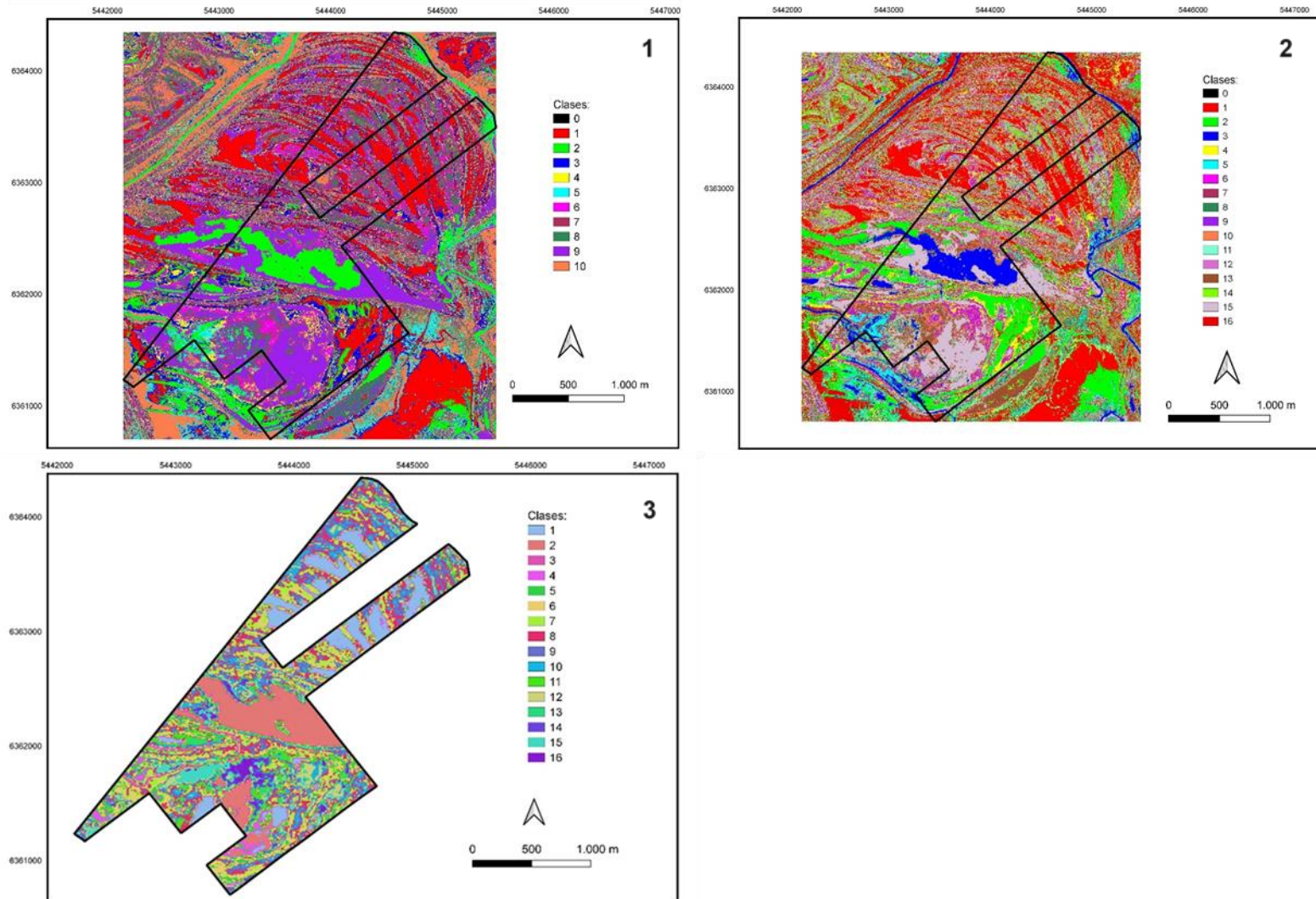


Figura A1. Mapas resultantes de la clasificación no supervisada: 1 y 2- Clasificaciones obtenidas a partir de los mosaicos aerofotográficos. 3- Clasificación obtenida a partir de la imagen Sentinel-2.