



# **INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**TESIS DE GRADO**

## **ZONIFICACIÓN DEL CINTURÓN VERDE DE MENDOZA EN BASE A FUNCIONES ECOSISTÉMICAS**

**Tesista: Nur Noemí Akil**

**Director: Ing. Agr. Leandro Mastrantonio**

**Universidad Nacional de Cuyo – Facultad de  
Ciencias Agrarias**

**Almirante Brown 500.  
Chacras de Coria - Luján de Cuyo.  
CPA M5528AHB - Tel.: (+54 261) 413-5010  
Mendoza - Argentina  
17 de Julio de 2020**



# ZONIFICACIÓN DEL CINTURÓN VERDE DE MENDOZA EN BASE A FUNCIONES ECOSISTÉMICAS

**Tesista Nur Noemí Akil**

B° Petroleros- Tartagal 1064 CP 5519

Guaymallén- Mendoza

nurnoe2@gmail.com

Tel: 54 2616254511

**Director de Tesis**

Ing. Agr. Leandro Mastrantonio

**Comité Evaluador**

Ing. Agr. Lucía del Barrio  
Dr. José Antonio Portela  
Mg. Sc. Luis Rodríguez Plaza

## AGRADECIMIENTOS

Ante esta inminente culminación de mis estudios de Grado agradezco principalmente a mi familia que estuvo en cada una de las etapas de mi formación, apoyándome incondicionalmente.

Les debo mi completa gratitud a mi mamá y mi papá que me incentivaron desde el primer momento y que me dieron un excelente ejemplo como profesionales y personas. Soy consciente que han hecho muchísimos sacrificios por mí y ojalá nunca se olviden que les estaré eternamente agradecida.

También debo mencionar a mis hermanas que me contuvieron en los momentos malos y festejaron los éxitos. Les doy las gracias por siempre estar pendiente de mí en cada pasito y por saber que cuento con ustedes. Por supuesto no me olvido de mis tíos/as y primos/as que estuvieron dispuestos a ayudarme y alentarme siempre.

Gracias a todos mis compañeros y amigos que me acompañaron, especialmente a aquellos con los que compartí muchas alegrías que hicieron de la Universidad una experiencia maravillosa. Estarán siempre en mi memoria todos mis compañeros de estudio que terminaron siendo mis amigos más incondicionales (no hace falta mencionarlos porque cada uno sabe), con los que compartí miles de horas de estudio, de estrés, de felicidad al aprobar y que estuvieron presente siempre. A ellos les expreso mi mayor agradecimiento, debido a que este camino lo hicimos juntos.

A mi director Leandro Mastrantonio, gracias por guiarme en los últimos pasos de la carrera, aportándome herramientas para el crecimiento profesional y siempre dispuesto a compartir y escuchar. Me alegró mucho haber compartido clases desde primer año y agradezco que haya sido nuestro guía, con la mejor predisposición para resolver nuestras dudas de todo tipo cuando entendíamos poco y nada de cómo manejarnos en la facultad.

Gracias a los científicos de CONICET que me incorporaron a sus proyectos de investigación en los que aprendí mucho, y me otorgaron nuevas experiencias académicas que me serán de utilidad como Ingeniera.

Por último y no menos importante, doy gracias a todos los que integran la Universidad pública que día a día trabajan en nuestra educación y el desarrollo integral de los mendocinos.

## RESUMEN

El Cinturón Verde de Mendoza es un agroecosistema con características particulares y estratégicas debido a su cercanía al Área Metropolitana de Mendoza, su aptitud agrícola y la disponibilidad de recurso hídrico.

En la zona se producen hortalizas para consumo en fresco, actividad que se encuentra en declive debido al avance urbano sobre tierras fértiles. Es por ello que se considera necesario identificar los beneficios que se obtienen del ecosistema no urbanizado, con el objetivo de realizar un Ordenamiento Territorial adecuado que incentive el desarrollo local de manera sustentable.

El área de estudio se analizará como humedal debido a las características actuales existentes, siendo la principal, la disposición de la freática cercana a la superficie del suelo. Adicionalmente, esta zona pertenecía a la antigua "Ciénaga del Bermejo" que con el tiempo, y como resultado del manejo antrópico, se ha ido secando. Los humedales deben ser especialmente protegidos en climas semiáridos como es la provincia de Mendoza, principalmente por la acumulación de materia orgánica (MO) y recarga de acuíferos.

Se analizaron las Funciones Ecosistémicas (FE) de Almacenamiento de Carbono Orgánico en el Suelo y de Retención de Exceso de Precipitación consideradas las más relevantes por las características del ecosistema. Se utilizó como área de estudio el humedal actual donde hay mayor producción agrícola, determinada por el análisis de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y el humedal potencial o antigua Ciénaga del Bermejo que abarca un mayor sector del Cinturón Verde de Mendoza. La cuantificación de las FE se realizó a través de la adaptación del Protocolo ECOSER provisto por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

En los resultados obtenidos se puede observar que la FE más variable espacialmente consiste en el Almacenamiento de Carbono Orgánico en el Suelo, determinando las zonas que poseen mayores valores relativos de ambas FE. La FE de Retención de Exceso de Precipitación es aproximadamente homogénea presentando sus valores máximos en cauces naturales. La zona con mayor aporte de FE relativas corresponde a la comprendida entre el distrito de La Primavera y Kilómetro 8. Hacia fuera del área de estudio se vislumbra valores menores de las FE relativizadas debido a la menor presencia de MO en el territorio en conjunto con una mayor antropización.

Contemplando los resultados, la zona de mayor aporte de FE debería ser protegida del avance urbano, incentivando a los productores a mantener sus cultivos con un buen manejo del suelo. Por otro lado, en las zonas con menores valores de FE, deberán coexistir ambas actividades priorizando la agricultura en la zona media y el crecimiento urbano hacia afuera.

**PALABRAS CLAVES:** Funciones ecosistémicas, Servicios ecosistémicos, humedales, SIG, Ordenamiento Territorial, ECOSER.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
FUNDAMENTACIÓN E HIPÓTESIS	2
OBJETIVOS	4
Objetivo general	4
Objetivos particulares	5
MARCO TEÓRICO	5
Área de estudio	5
Estado de conocimiento del tema	8
MATERIALES Y MÉTODOS	15
Función Almacenamiento de Carbono Orgánico en Suelo	15
Retención de Excesos de Precipitación por Humedales	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
Análisis del área de estudio	20
Función de almacenamiento de carbono orgánico en suelo	22
Función de Retención de Exceso de Precipitación por Humedales	29
CONCLUSIÓN	36
BIBLIOGRAFÍA	38

## ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICOS Y TABLAS

Figura N° 1 La Gran Ciénaga del Bermejo se extendía al oriente de la Ciudad de Mendoza entre el Zanjón y el río Mendoza en 1802.	6
Figura N° 2 Ubicación del área de estudio del humedal actual y potencial.	7
Figura N° 3 Ubicación Área del Humedal Potencial	7
Figura N° 4 Ubicación de Humedal actual.	8
Figura N° 5 Área de cobertura de datos de MO y Área del Humedal Potencial o “Antigua Ciénaga de Bermejo”- Cinturón Verde de Mendoza.	20
Figura N° 6 NDVI del área del humedal potencial.	21
Figura N° 7 NDVI y puntos de muestreo de MO.	21
Figura N° 8 Mapa de puntos de MO y Profundidad a 30 cm.	22
Figura N° 9. Materia Orgánica a 30 cm (%) en el Cinturón Verde de Mendoza.	24
Figura N° 10 Profundidad de la capa 1 (en m) y puntos de muestreo en el Cinturón verde de Mendoza.	24
Figura N° 11 . DAP (t/m <sup>3</sup> ) en Cinturón verde de Mendoza.	25
Figura N° 12. DAP respecto a MO (capa 1).	26
Figura N° 13 Masa de Suelo en la capa 1 (t/pixel) en Cinturón Verde de Mendoza.	27
Figura N° 14 Función de Almacenamiento de Carbono orgánico a 30 cm - Cinturón Verde de Mendoza.	28
Figura N° 15 Función relativa de Almacenamiento de Carbono Orgánico en suelo a 30 cm- Cinturón Verde de Mendoza.	28
Figura N° 16 Área Potencial del Humedal.	29
Figura N° 17. Modelo Digital de Elevación (DEM)- IGN- Área Humedal Potencial.	30
Figura N° 18 Índice Topográfico de Humedad (ITH) en Área de Humedal Potencial. Cinturón Verde de Mendoza.	31
Figura N° 19 Índice Topográfico de Humedad (ITH) relativizado en Área del Humedal Potencial. Cinturón Verde de Mendoza.	31
Figura N° 20 Mapa de Áreas Potencial y Actual del Humedal. Cinturón Verde de Mendoza.	32
Figura N° 21. Función de Retención de Precipitación en Humedal relativizado en el Cinturón Verde de Mendoza.	33
Figura N° 22 Zonificación en base a Funciones de Almacenamiento de Carbono Orgánico y Retención de Exceso de Precipitación.	34

Figura N° 23 Localización de Zonificación de Funciones ecosistémicas relativizadas.	35
Gráfico N° 1 Marco para el análisis integrado y valoración de las Funciones ecosistémicas, bienes y servicios.	10
Gráfico N° 2 Funciones ecosistémicas en humedales	12
Gráfico N° 3 Modelo de regresión exponencial DAP respecto a MO a 30 cm	23
Tabla N° 1 Medidas resumen de datos utilizados en la función Almacenamiento de Carbono orgánico en suelo	22
Tabla N° 2 Valores de parámetros para Profundidad a 30 cm	23
Tabla N° 3 Valores de parámetros utilizados en kriging para MO a 30 cm	23

## 1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas naturales son la fuente de recursos indispensables para la humanidad y son los responsables de mantener las funciones ecosistémicas, que sostienen la vida de los organismos en la tierra. Debido a que, generalmente, el desarrollo de la economía ha estado ligado a la degradación de los servicios ecosistémicos, evitar este impacto en los mismos ha sido un tema central en las políticas de conservación (Song et al., 2015).

En la presente investigación, entenderemos como servicio ecosistémico (SE) al flujo de materiales, energía e información de las fuentes de capital natural para el bienestar humano. Y como función ecosistémica (FE) a aquellas relativas al hábitat, la biología, las propiedades y los procesos de los ecosistemas. Resolvemos entonces que los SE son los beneficios que obtiene la población de manera directa o indirecta de las FE (Costanza et al., 1997).

A pesar de la importancia de los servicios y funciones que proveen los ecosistemas naturales, éstos no son contemplados en los mercados, o no son cuantificados adecuadamente en comparación con aquellos servicios económicos y capitales manufacturados. En consecuencia, se compromete de manera negativa la sostenibilidad de la vida en la Tierra (Costanza et al., 1997).

Para lograr medidas de desarrollo sustentables adecuadas para una región, los actores que participan en la planificación del territorio, deberían comprender las funciones ecosistémicas, así como los beneficios que obtiene la sociedad de los servicios que brindan los ecosistemas. El impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas y cómo estos servicios pueden ser controlados por las políticas públicas deben ser ejes fundamentales de estudio y análisis (Kumar, 2013).

En el proceso de entendimiento de dichas funciones y servicios partiremos de la premisa que el capital natural es esencial para el bienestar humano de tal manera que, si este no existiera, no habría bienestar por la falta de sustituyentes. Los productos manufacturados y el capital humano necesitan del capital natural para existir, teniendo este último un valor prácticamente infinito (Costanza et al., 1997).

Los cambios en el uso del suelo que se están generando a nivel mundial altera la capacidad de producción del capital natural de los ecosistemas, modificando los parámetros físicos de la superficie de la Tierra, así como el transporte de nutrientes en el suelo y la vegetación. Como producto de estos desequilibrios y, por la falta de la visión holística antes mencionada, la composición y estructura de los ecosistemas se están viendo afectadas (Song et al., 2015).

Es por ello, que es necesario incorporar la dimensión ambiental, conjuntamente con la participación activa ciudadana, en la ejecución de los instrumentos de Ordenamiento Territorial, tanto en las zonas rurales como urbanas. Esto promovería el uso del territorio de manera sustentable, revalorizando ciertos espacios desde el punto de vista del desarrollo local (Segura et al., 2003).

A nivel nacional, Mendoza es pionera en la implementación de la Ley de Ordenamiento territorial (OT) (Ley Nº 8.999) a través de un Plan Provincial de Ordenamiento Territorial (PPOT) que establece los lineamientos que deben seguir los programas de desarrollo y usos del suelo, priorizando los ecosistemas naturales.

Berón, Padilla y Rapali (2013) definen al OT como un procedimiento político- administrativo en los cuales se generan planes que tienen como objetivo principal la zonificación del territorio, teniendo en cuentas los usos del suelo y los instrumentos fiscales y económicos.

Estos últimos tienen como finalidad controlar y desalentar las especulaciones inmobiliarias y recuperar la plusvalía a la vez que se alienta el desarrollo sostenible.

El presente estudio de investigación fue llevado a cabo en un sector del Cinturón Verde de la Provincia de Mendoza que comprende principalmente, parte de los departamentos de Guaymallén, Maipú y Lavalle. La zona de interés perteneció a un amplio sistema palustre y lacustre que con el pasar de los años se fue secando, pero al poseer algunas características de humedal, se analizará como tal (Prieto et al. 2008).

Esta zona no está exenta al proceso global que consiste en la continua expansión urbana de manera desordenada, que ha tenido como consecuencia, la pérdida significativa de tierras ecológicas, limitando la sustentabilidad del desarrollo urbano (Peng et al. 2018).

Estos proyectos de urbanización que alientan la economía de los centros urbanos son contempladas como una repercusión positiva, sin embargo, desde el punto de vista ecológico estos procesos causan efectos negativos en el ambiente (Zubair et al., 2017).

Los humedales urbanos proveen diversos servicios ecosistémicos, dentro de los que encontramos el mejoramiento de la calidad del agua y almacenamiento de agua de escorrentía. Además, es el hábitat de peces y animales silvestres, proporciona una cualidad estética desde el punto de vista paisajístico, y posee productividad biológica (Zubair et al., 2017).

Los humedales cumplen una función de gran importancia en los ecosistemas al ser partes del ciclo hidrológico donde intercepta el escurrimiento superficial y almacena los excesos de agua. Es decir, que pueden influir sobre las inundaciones, la recarga de acuíferos y los flujos de base (Barrial, 2016). La eficacia de los humedales para amortiguar inundaciones puede variar dependiendo de su capacidad de almacenaje en relación al volumen del agua que podría provocar la inundación, la saturación de los suelos de los humedales antes del evento, del tipo y condición de la vegetación, de la pendiente, la ubicación de los humedales en la red de drenaje, los cursos de agua y planicies de inundación aguas arriba (Barrial, 2016).

Estos humedales son ecosistemas vulnerables a las actividades humanas por lo que la pérdida y degradación de hábitats terrestres y acuáticos sumada al deterioro de la calidad del agua son asuntos de interés mundial. Para el estudio de estas áreas, se han utilizado principalmente técnica de sensores remotos con el objetivo de generar información en los cambios de uso y cobertura del suelo. Los Sistemas de Información Geográfica en conjunto con los sensores remotos son recursos que proveen conocimientos de manera rápida y a larga escala en los humedales (Papastergiadou et al. 2008).

En el presente trabajo se procederá a analizar funciones ecosistémicas relevantes del área, que puedan ser medidas cuantitativamente a través del protocolo ECOSER con el fin de realizar una zonificación adecuada que esté apoyada en estudios científicos (Latterra et al., 2015).

## **2. FUNDAMENTACIÓN E HIPÓTESIS**

Un estudio encabezado por la Mg. Arq. Carina Médico (2016), indica que la “interfase” o territorio que rodea a una urbe, consiste en aquellos ecosistemas con los cuales se realiza intercambio de energías, y simultáneamente, proveen funciones ecológicas y de servicio ambiental. Es por ello, que esta área se comporta no sólo como un mero borde, sino que comprende un nuevo sistema que se encuentra entre el campo y la ciudad. Desde allí es que la población se provee de recursos, lugares de ocio, productos manufacturados y de especies vegetales. Entre las funciones ecosistémicas presentes encontramos algunas

como la depuración del ambiente a través de la absorción de contaminantes del aire, agua y especies exóticas entre otras.

El área de estudio se ubica en el “Cinturón Verde” de la ciudad de Mendoza perteneciente a sectores de los departamentos de Guaymallén, Maipú y una pequeña porción de Lavalle. Adoptando los criterios del análisis del territorio de Médico (2016), se puede considerar esta zona como la interfase entre el Área Metropolitana y el área rural.

Estos territorios fueron parte de la “Gran Ciénaga del Bermejo” que consistió en un área pantanosa y lacustre existente hasta principios del siglo XX (Prieto y Rojas, 2012), siendo en la actualidad un agroecosistema diversificado pero con tendencias a la producción hortícola destinada a los mercados en fresco (Van den Bosch y Ruggeri, 2014).

Los suelos son de muy buena aptitud para la mayoría de los cultivos, el clima es óptimo y posee una amplia red de riego junto con la disponibilidad de aguas surgentes de excelente calidad, estando garantizada la provisión hídrica. Sin embargo, debido a su proximidad y fácil acceso al Área Metropolitana de Mendoza manifiesta una problemática específica de las zonas periurbanas que consiste en la edificación de manera dispersa y la pérdida territorios productivos. Por lo tanto, esta área se enfrenta a conflictos entre los que se encuentran:

- la demanda de tierras por parte de la zona urbana para su expansión,
- la emigración de los jóvenes que han perdido su vocación agrícola y
- la salinización de los suelos debido a su mal manejo sumado a la cercanía de la freática a la superficie (Van den Bosch y Ruggeri, 2014).

La problemática se centra principalmente en la expansión de la zona urbana (loteos y emprendimientos inmobiliarios) sobre zonas agrícolas de Mendoza con la consecuente pérdida del recurso suelo con gran aptitud agrícola, afectando económicamente a la región. Esta zona de interfase urbano-rural actúa como amortiguador de temperatura y humedad, donde hasta principios del siglo pasado se producían grandes cantidades de productos en fresco para la ciudad. Esta interacción en los paisajes de interfase supone, no sólo un impacto simplemente económico, sino que también forma parte de los aspectos ambientales, recreacionales y paisajísticos (Médico, 2016).

La prospectiva de los servicios ecosistémicos a 50 años proyecta un aumento del requerimiento de los mismos, junto con la degradación de la calidad de los servicios y, en caso de mal uso, se esperaría una disminución de la cantidad disponible a futuro. Este incremento se produce debido al crecimiento de las poblaciones sumado al aumento del consumo per cápita de los SE incluidos el agua y los alimentos (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

El comportamiento y análisis del área de estudio como humedal no es un aspecto menor a considerar, debido a la existencia de una tendencia mundial a la desaparición de este tipo de ecosistemas. La degradación y reducción de los humedales tiene como consecuencia la puesta en riesgo del “ambiente ecológico” y la conservación de la biodiversidad (Dong et al, 2014).

Una de las principales FE de los humedales consiste en la captura y almacenamiento de carbono orgánico en el suelo. Estos suelos fértiles y ricos en materia orgánica (por ejemplo turba) son importantes en la reducción de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>) mitigando el calentamiento global (Marulanda y Villa, 2015).

Los cambios de uso del suelo correspondientes a la eliminación o disminución de la densidad de biomasa conllevan a la liberación del carbono acumulado a la atmósfera. Esto disminuye la cantidad acumulada en la misma vegetación de forma directa, así como también, los residuos orgánicos disponibles que se almacenarán efectivamente en el suelo como carbono. Los impactos provocados por los procesos de cambio de uso y cobertura

del suelo se ha convertido en uno de los temas principales en las últimas décadas a nivel global (Chuai et al., 2014).

En cuanto a ambientes áridos y semiáridos, como al que pertenece la ciudad de Mendoza, la retención de agua en el suelo determina la cantidad de agua provista a los cauces adyacentes, a los depósitos de agua subterránea y también determina el agua disponible en la época de crecimiento vegetativo. En consecuencia, es esencial entender la retención de agua infiltrada en las zonas de captación (Geroy et al., 2011).

Además de los aspectos antes mencionados, no debe subestimarse la existencia del valor de “no uso” del sector. Éste consiste en los beneficios que puede proporcionar el medio por su mera existencia, aunque no se le dé un uso concreto ni haya una planificación para su explotación (De Groot et al., 2007).

Ante estos escenarios planteados tenemos la posibilidad de planificar a futuro a través de la configuración de un modelo deseado con respecto al ordenamiento del territorio, basándonos en la realidad actual. Se debe tener en cuenta:

- Las capacidades potenciales del área,
- actividades deseadas,
- desarrollo de sectores con capacidades para convertirse en polos,
- identificar debilidades de equipamiento y servicios,
- priorizar acciones a corto, mediano y largo plazo, entre otros (Segura et al., 2003).

El Ordenamiento Territorial es “el procedimiento político- administrativo del Estado en todo el territorio provincial y es de carácter preventivo y prospectivo a corto, mediano y largo plazo, utilizando a la planificación como instrumento básico para el desarrollo económico, social y ambiental con formas equilibradas y eficientes de ocupación territorial” (Ley 8.051, 2009). Este proceso es indispensable para planificar los balances de oferta y demanda de recursos en el tiempo evitando o mitigando los impactos negativos del crecimiento económico ocasionados al ambiente y a los actores sociales (Segura et al., 2003).

Para ello, se necesitan herramientas adecuadas para el análisis del territorio, siendo los Sistemas de Información Geográfica (SIG) de utilidad debido a la provisión de datos espacialmente explícitos. De este modo, se obtendrá información eficiente y precisa necesaria para estimar los impactos al ecosistema, producto de los cambios en el uso del suelo (Kreuter et al., 2001) para una posterior zonificación y planificación.

## **Hipótesis**

Es posible hacer una zonificación en un sector del Cinturón Verde de Mendoza a partir del análisis cuantitativo de las funciones ecosistémicas de almacenamiento de carbono orgánico y retención de exceso de precipitación.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo general**

Evaluar una propuesta de zonificación en el Cinturón Verde de Mendoza a través del análisis cuantitativo de funciones ecosistémicas.

### 3.2 Objetivos particulares

- Objetivo 1: Estimar las Funciones Ecosistémicas de Almacenamiento de Carbono Orgánico en Suelo y Retención de Exceso de Precipitación en Humedales aplicando el Protocolo ECOSER
- Objetivo 2: Analizar espacialmente las funciones ecosistémicas elegidas, en cuanto a su aptitud para los diferentes tipos de uso de suelo, para su aplicación en el Ordenamiento Territorial.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 Área de estudio

El área de estudio analizada se encuentra dentro del denominado “Cinturón Verde” comprendido por sectores del departamento de Guaymallén y de Maipú en la provincia de Mendoza, República Argentina. De acuerdo a la investigación llevada a cabo por Van den Bosch y Ruggeri (2014):

*“El Cinturón Verde de Mendoza constituye un agroecosistema con características particulares con respecto al resto de los oasis provinciales, tanto por su estructura como por su funcionamiento, relaciones de proximidad al Área Metropolitana de Mendoza y el destino de su producción, actor principal a nivel nacional en la provisión de hortalizas frescas” (p.3).*

En los últimos años las actividades agrícolas lograron una expansión significativa de los cultivos hasta convertirse en el segundo Cinturón Verde de importancia nacional. Se caracteriza por poseer un área rural que presenta homogeneidad en los cultivos y otra contigua al área urbana que es la que recibe mayor presión por la alta demanda inmobiliaria (Ley 8.999, 2017).

Como se mencionó anteriormente, el suelo posee una buena aptitud para cultivos, el microclima es benigno y el agua de riego no es un factor limitante, estando garantizado el recurso tanto por la provisión de agua subterránea como de surgente en algunas zonas (Van den Bosch & Ruggeri, 2014).

Sin embargo, un estudio llevado a cabo en el Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA) por Prieto et al., (2008) evidencia el manejo inadecuado al que ha sido sometido este territorio a través del tiempo. Las principales consecuencias de ello se manifestaron a través de la salinización, revenición, alcalinización y gran derroche de agua subterránea y superficial.

A propósito de la anterior investigación, se profundizará en la evolución de esta área de características palustres. Los estudios muestran que esta superficie inundada comenzó su avance sobre tierras agrícolas, a mediados del siglo XVIII modificando el ambiente del lugar, formándose la “Ciénaga del Bermejo” o del este de Mendoza. La localización se caracterizaba por una planicie aluvial de transición entre el cono de Maipú y la llanura fluvioaluvional-eólica que se extiende al oriente de la Cordillera Andina y actuaba como receptora de aguas subterráneas y superficiales.

La Antigua Ciénaga del Bermejo (Figura N° 1) poseía una orientación NE-SO, siendo la fuente de agua principalmente del derretimiento de la nieve acumulada durante el invierno en la Cordillera, en conjunto con el deshielo de los glaciares y el agua subterránea del drenaje regional. Actualmente, el agua de la freática se encuentra muy cercana a la superficie facilitada por la presencia de una capa impermeable (tosca) que permite el estancamiento de la misma. Este fenómeno todavía es un factor que impacta en los cultivos

de los departamentos de Maipú, Guaymallén y Llavalle. La flora perteneciente al humedal permanece hasta la actualidad, en forma de MO en el suelo. Esto es resultado de la permanencia del agua de manera constante o esporádica, que crearon las condiciones necesarias para formar compuestos orgánicos de degradación lenta, sustentando la agricultura y pastoreo en la zona por siglos (Prieto y Rojas, 2012).

Si bien desde principios del siglo XX se realizaron tareas de drenaje que tuvieron como consecuencia la desecación de la misma, las características anteriormente mencionadas, ponen en evidencia en la actualidad la existencia de dicho humedal (Prieto et al., 2008).

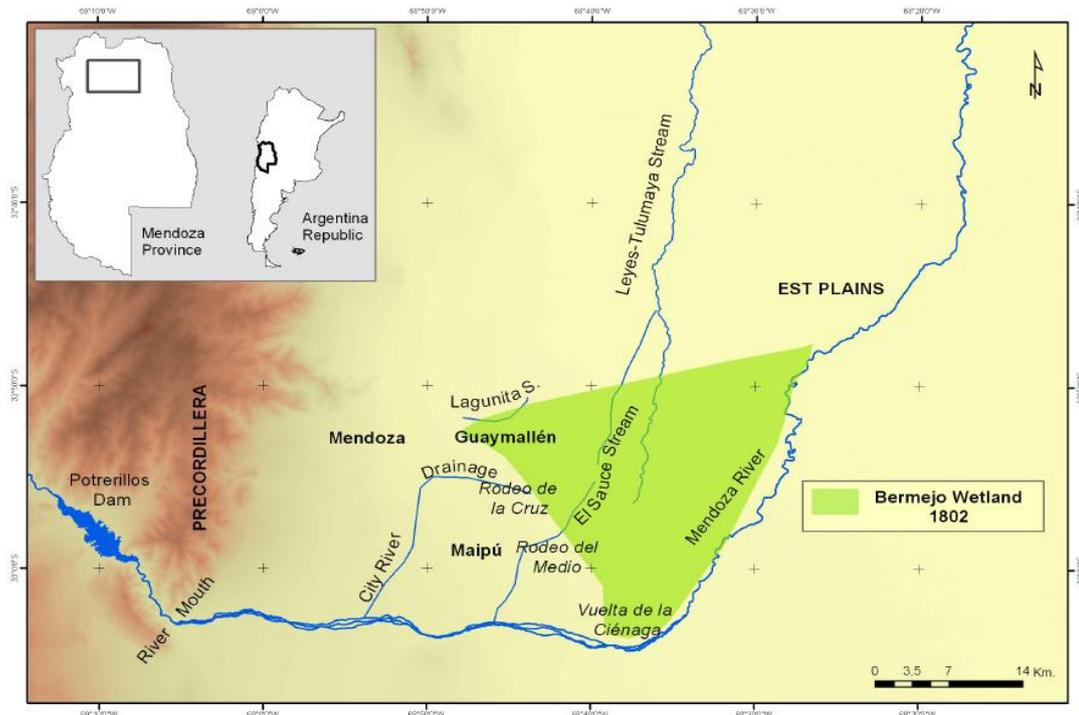


Figura N° 1 La Gran Ciénaga del Bermejo (verde) se extendía al oriente de la Ciudad de Mendoza entre el Zanjón y el río Mendoza en 1802. Fuente: Prieto et al. (2012)

En el mapa expuesto a continuación (Figura N° 2) se observa en negro la antigua Ciénaga de Bermejo, que se utilizará en la presente investigación como el humedal potencial y en verde el humedal actual.

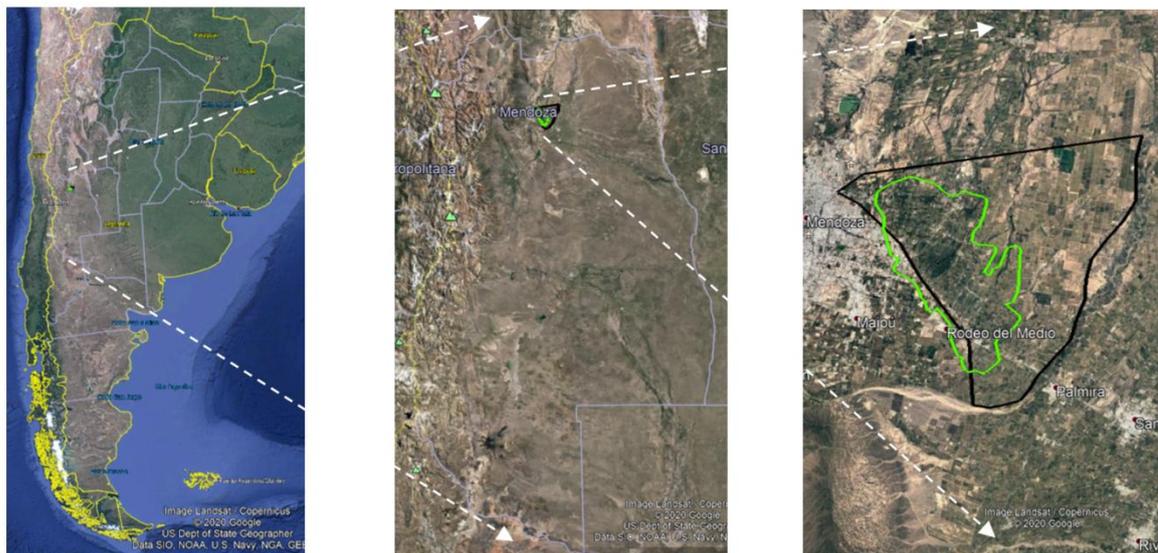


Figura N° 2 Ubicación del área de estudio del humedal actual y potencial. Fuente: Google Earth. Elaboración propia

El humedal potencial o antigua “Ciénaga de Bermejo” actualmente comprende los departamentos de Maipú, Guaymallén, Lavalle y pequeños sectores de Las Heras y San Martín (Figura N° 3). Con respecto al humedal actual, este comprende los departamentos de Guaymallén y Maipú (Figura N° 4).

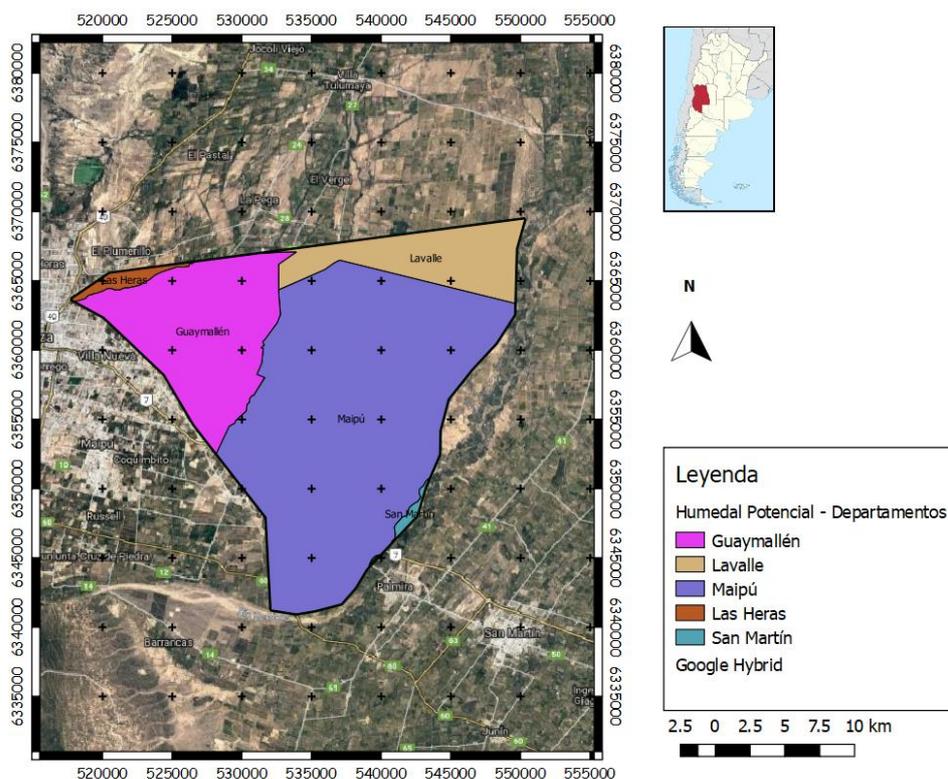


Figura N° 3 Ubicación Área del Humedal Potencial introducido por Prieto et al. (2008). Elaboración propia

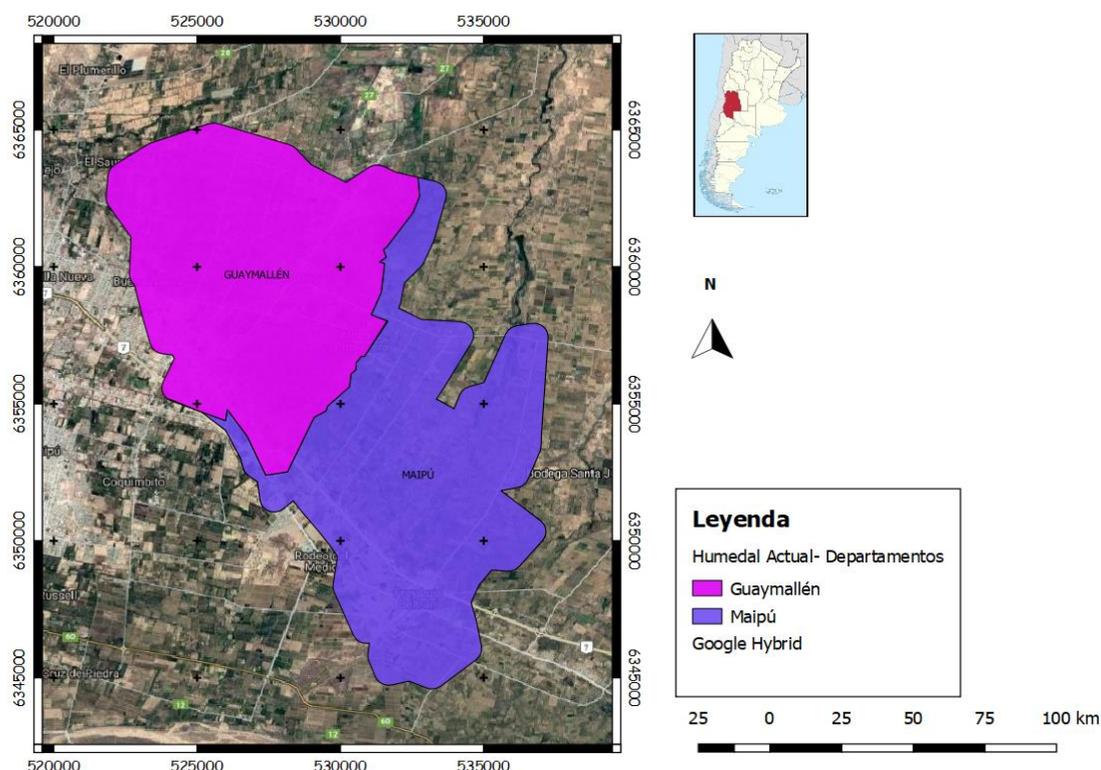


Figura N° 4 Ubicación de Humedal actual. Elaboración propia

## 4.2 Estado de conocimiento del tema

Con el objetivo de poder entender los beneficios que obtenemos de los ecosistemas se definirán los conceptos de Servicios Ecosistémicos (SE) y Funciones Ecosistémicas (SE) que en algunos casos varía según la perspectiva de los autores.

Fisher et al. (2009), menciona tres de las definiciones más citada respecto a los Servicios Ecosistémicos:

- *“Las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que lo componen, sostienen y satisfacen la vida humana”.*
- *“Los beneficios que obtienen las poblaciones humanas, directa o indirectamente, de las funciones ecosistémicas”.*
- *“Los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas” (p.645).*

Además mencionan la postura de Boyd y Banzhaf que plantean la definición de servicios ecosistémicos como: *“Aquellos componentes directamente consumidos o aprovechados para el bienestar humano” (p. 645)*. Sumado a esto, establecen al concepto de SE como dependiente de los beneficios que se obtienen, es decir que se considera cierto SE según los beneficios en los que uno está interesado. (Fisher et al., 2009).

Por otro lado, Laterra et al. (2011) definen a los bienes y SE como aquellos que satisfacen necesidades y producen bienestar social e individual. En esta investigación se destaca la importancia de la producción de alimentos, siendo uno de los SE principales para satisfacer necesidades básicas de la población. Otros SE mencionados son: la regulación climática, provisión de agua, recreación, control de posible disturbios, preservación de valores culturales, entre otros.

De Groot et al. (2007) remarca la definición de los SE provista por la Evaluación de Ecosistemas del Milenio como los beneficios suministrados por los ecosistemas. Esta afirmación incluye los bienes (recursos), en conjunto con los servicios, en el sentido estricto (beneficios derivados de procesos y usos de elementos no tangibles de los ecosistemas).

La definición adoptada en la presente investigación será aquella que considera a los SE como el flujo de materiales, energía e información desde el capital natural, que combinada con el capital humano y de manufactura producen bienestar para los mismos. En esta afirmación se puede observar la trascendencia del capital natural que no puede ser sustituido y del cual dependen los capitales humanos y de manufactura (Costanza et al., 1997).

EL objeto de estudio se centra en las Funciones Ecosistémicas (FE) cuya definición y categorías serán abordadas en base a la investigación de varios autores. De Groot et al. (2002) define en su investigación a las FE como *“la capacidad de los procesos naturales y componentes para proveer bienes y servicios que satisfagan las necesidades humanas, directa e indirectamente”*. Estos procesos naturales son el resultado de la interrelación entre los componentes bióticos y abióticos a través de los ciclos de la materia y energía.

Continuando con el aporte de los autores, se agrupan a las FE en las siguientes categorías:

- **Funciones de Regulación:** son aquellas relacionadas a la capacidad de los ecosistemas naturales y semi-naturales de regular los procesos ecológicos esenciales y los sistemas de soporte de vida a través de los ciclos biogeoquímicos y otros procesos referente a la biósfera.
- **Funciones de Hábitat:** los ecosistemas naturales proveen refugio y hábitat para la reproducción de plantas y animales silvestres, contribuyendo a la conservación de la diversidad tanto biológica como genética y a los procesos de evolución.
- **Funciones de Producción:** incluye los procesos de fotosíntesis y absorción de nutrientes que se transforman en biomasa proveyendo alimentos, materia prima, recursos energéticos y genéticos.
- **Funciones de Información:** los ecosistemas naturales proveen una “función de referencia de hábitat no disturbados” y contribuye al mantenimiento de la salud de los seres humanos proporcionando oportunidad de reflexión, enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, recreación y experiencia estética.

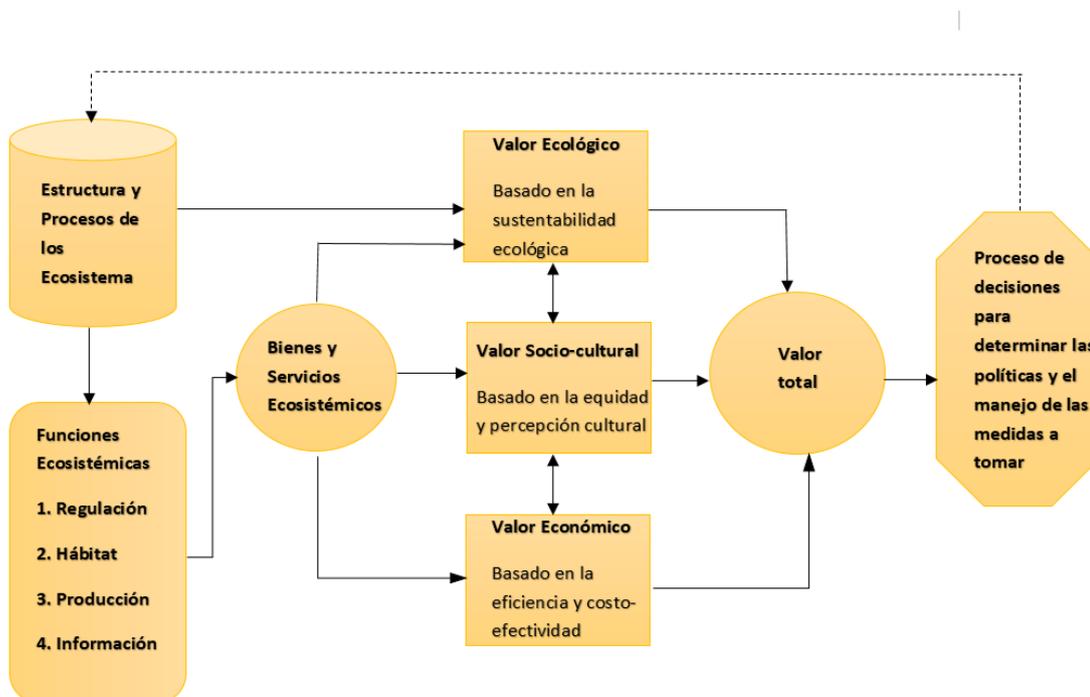
De Groot et al. (2002) evidencia la importancia de los primeros dos grupos (Funciones de Regulación y de Hábitat) debido a su carácter indispensable para el mantenimiento de los procesos naturales, condicionando por lo tanto, la existencia de los otros dos grupos de funciones.

Otra definición similar la introduce Costanza et al. (1997) donde hace referencia a las FE como *“las propiedades de hábitats, biológicas o de los sistemas y los procesos de los ecosistemas”*. En concordancia con De Groot, destaca a los bienes y servicios ecosistémicos como beneficios que obtiene el ser humano de las FE de manera directa o indirecta. Asimismo menciona la existencia de casos en los cuales un solo SE es producto de dos o más FE así como existen casos donde una sola FE está relacionada a dos o más SE.

La definición adoptada en este trabajo será la dispuesta por Laterra et al. (2015) que afirma que las Funciones Ecosistémicas (FE) son: *“Aquellas también llamadas servicios ecosistémicos intermedios y consisten en los atributos y procesos físicos, químicos y biológicos que contribuyen al automantenimiento de los ecosistemas y que soportan el flujo de servicios ecosistémicos.”* (p. 8)

Por consiguiente, con el objetivo de continuar con el usufructo de los beneficios que nos ofrecen las FE es necesario garantizar la existencia de los ecosistemas naturales y sus procesos. Sin embargo, al obtener una ganancia que en ocasiones se manifiesta de manera indirecta y no visible ante la falta de conocimiento, muchas veces estas FE no son puestas en valor y son disturbadas (De Groot et al., 2002). En el gráfico N° 1 podemos apreciar las relaciones entre los procesos y estructuras de los ecosistemas, las FE y los bienes y SE, su valor y el papel de las decisiones en este sistema.

Gráfico N° 1 Marco para el análisis integrado y valoración de las Funciones ecosistémicas, bienes y servicios.



Fuente: Extraído de De Groot et al. (2002). Traducción propia.

Una de las problemáticas vinculada a los SE y FE consiste en la falta de cuantificación e inclusión en la agenda política. Sin embargo, las decisiones concernientes a los ecosistemas no pueden estar exentas de esta valoración. Existen diversas discusiones al respecto, en las cuales se plantea que es imposible, o muy complejo, realizar dicha cuantificación en procesos intangibles, aunque en realidad dicha valoración se hace en la vida cotidiana de manera espontánea. Otro obstáculo al hablar de SE y FE consiste en el desacierto de considerar que la protección de los ecosistemas sólo deben justificarse con un fin estético o puramente moral, sin tener en cuenta su valor intrínseco. En relación a este tema se debe tomar en consideración que el capital natural provisto por ellos es indispensable para el bienestar humano, en cuanto el mismo no puede ser sustituido en su totalidad por otro capital “no natural” (Costanza, 1997).

Los ecosistemas de la provincia de Mendoza se caracterizan por poseer un clima árido en el que podemos destacar a las precipitaciones como factor limitante debido a las altas tasas de evaporación, resultando en sequías periódicas. Estos fenómenos generan una de las mayores problemáticas con respecto a los procesos ecosistémicos, que ante presiones naturales y de cambio global, son especialmente vulnerables a la degradación, escasez de agua y alimentos entre otros fenómenos. En esencia, es la presión de la población la fuerza generadora de mayor conflicto entre la agricultura y la construcción, mientras que aumenta la necesidad de ganado, granos y espacio para vivir (Lu et al., 2018).

Adicionalmente, el proceso de expansión urbana generalmente implica un aumento en el volumen del tráfico, presión sobre los recursos locales y menos espacios abiertos afectando a los ecosistemas (Kreuter et al., 2001). Por consiguiente, es importante tener en cuenta los SE ecosistémicos, y por ende las FE, en las decisiones pertenecientes al uso y manejo del suelo, ofreciendo incentivos a la sociedad con el objetivo de obtener una respuesta positiva por parte de los actores intervinientes (Rao et al., 2018).

Como se menciona anteriormente, el área de estudio pertenece al sector donde se encontraba antiguamente la “Ciénaga del Bermejo” manteniendo algunas características de ese ecosistema. En consecuencia, el área de investigación se estudiará desde la perspectiva de los humedales detallados en el Manual de la Convención de Ramsar (2013) como:

*“las zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas” (p.7).*

Debido a que el Cinturón Verde de Mendoza posee agua de surgente y la capa freática se encuentra cercana a la superficie, sumado al hecho de que el manejo del agua controla el medio, la clasificación de humedal es pertinente a la zona (Van den Bosch y Ruggeri, 2014).

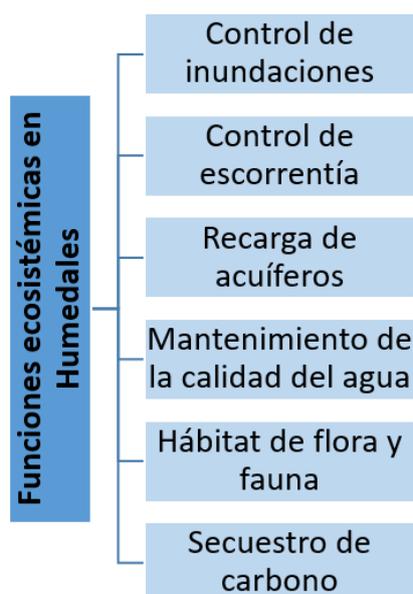
Concretamente, la Convención de Ramsar (1971) define a los humedales como:

*“las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” (p.1).*

La falta de conciencia de los encargados de la planificación con respecto a la relación entre el buen manejo de los humedales y los beneficios que obtiene la población de los mismos, ha conducido a decisiones carente de una visión holística y a largo plazo sobre el territorio. Con el tiempo esto ha producido la degradación, pérdida y conversión de los humedales, a pesar del hecho que éstos sean mucho más rentables sin modificar. La Convención Ramsar se empeña en el reconocimiento del valor de los humedales y los servicios que prestan a la población, así como su intervención en el mantenimiento de la diversidad biológica, resaltando su pérdida como “irreparable” (De Groot et al., 2007).

Los humedales son considerados uno de los ecosistemas más productivos del planeta debido a que sostiene funciones ecosistémicas esenciales entre las que se encuentran:

Gráfico N° 2 Funciones ecosistémicas en humedales



Fuente: Papastergiadou et al. ( 2008)

El recurso suelo, por su parte, es el medio por el cual los humedales pueden desempeñar estas funciones ecosistémicas de modo que deben ser conservado con la finalidad de preservar las propiedades que regulan su calidad. Esto se torna más difícil con el avance de la urbanización, principalmente por la consideración del suelo exclusivamente como soporte de construcciones o infraestructura, favoreciendo las prácticas de impermeabilización del mismo. Por tal motivo, se originan problemas de encharcamientos, crecidas, pérdida de biodiversidad, déficit en la recarga de acuíferos, entre otros. Para subsanar estas problemáticas se requieren altas inversiones y, en ocasiones, sólo se pueden mitigar pero no resolver (Cram et al., 2008).

Las propiedades de los suelos mencionadas anteriormente están relacionadas con la biomasa aérea presente y se ha probado que, a mayor existencia de vegetación, los suelos calcáreos, como los que posee Mendoza (Romanella, 1957), adquieren una mejor calidad (Safaei et al., 2019). Según los resultados de algunos estudios, se calcula que en el primer metro de suelo hay 1.5 veces más carbono que aquel acumulado en la biomasa aérea. De igual forma, el suelo se comporta como el medio en donde se producen los ciclos biogeoquímicos indispensables para el reciclaje de compuestos orgánicos (Sombroek et. al 1993).

En relación a la problemática expuesta, poder controlar y monitorear los cambios de uso y de cobertura del suelo es la base para un manejo ambiental sustentable a través de la implementación de políticas. Además, para planificar la toma de decisiones, en términos de conservación e implementación de estudios ecológicos, es de gran utilidad analizar los procesos históricos ambientales acontecidos en la zona (Papastergiadou et al., 2008).

Como se mencionó anteriormente, la provincia de Mendoza es pionera en la ordenación del territorio al haber sancionado la Ley 8.999 del Plan Provincial de Ordenamiento Territorial (PPOT) en el año 2017. Esta normativa fue producto de una amplia participación del sector público e institucional que comenzó con la construcción de la Ley N° 8051 de Ordenamiento Territorial y Usos del Suelo sancionada en el año 2006. El Plan establece al Ordenamiento Territorial como política de estado e integra el marco para las acciones a corto, mediano y largo plazo (Legislatura de Mendoza, 2020).

Con respecto al área de estudio, el PPOT dispone en el subprograma de gestión integrada del Área Metropolitana de Mendoza un proyecto de Manejo del Cinturón Verde con el fin de preservar las funciones ambientales y conservar la productividad de las áreas cultivadas. El objetivo principal del mismo consiste en:

*“aplicar instrumentos de planificación, económicos y de coordinación para limitar o promover actividades humanas que ayuden a preservar y potenciar el cinturón verde agrícola localizado tanto en el área de interfaz o rural atendiendo a su especificidad” (p.51).*

Para ello es necesario restringir las aprobaciones de cambio de uso del suelo rurales a usos urbanos y evitar el avance no regulado de los asentamientos (Ley N° 8.999, 2017).

Para el ordenamiento del territorio es necesario una base de datos sólida, siendo los Sistemas de Información Geográficos (SIG) una herramienta de utilidad para la generación de la misma, a causa de su capacidad para manejar múltiples variables en el análisis de SE y FE. La mayor parte de los enfoques de mapeo asumen implícitamente que la provisión de SE o su captura, así como el valor de los mismos, son homogéneos en diferentes áreas de estudio. Dado que el enfoque de SE se dirige, en última instancia, a mejorar el bienestar humano al evitar la pérdida de los mismos, la heterogeneidad espacial en la captura de los SE, los valores de los mismos y la capacidad para hacer frente a la pérdida SE son aspectos que deben ser tenidos en cuenta, principalmente en aquellos países que se rigen por grandes desigualdades sociales (Lattera, 2015).

En los últimos años las imágenes satelitales se han vuelto más accesibles y económicas convirtiéndose en una herramienta fundamental en la toma de datos ambientales espaciales, temporales y espectrales. A propósito de este estudio, se resalta a los mapas digitales que son de gran utilidad para facilitar el análisis de los patrones de uso del suelo. Paralelamente, los sensores remotos satelitales son la tecnología más viable en cuanto a la colecta de información con alta resolución en áreas de grandes extensiones (Kreuter et al., 2001).

Los SIG son un instrumento fundamental en el estudio de la naturaleza de los humedales y su potencialidad para la restauración. Debido a que se debe analizar de manera precisa la dinámica de los mismos, es preciso observar cuidadosamente los cambios espaciales y temporales de estos ecosistemas (Papastergiadou et al., 2008).

En el análisis y cuantificación espacial de las funciones ecosistémicas elegidas de Retención de Exceso de Precipitación y Almacenamiento de Carbono Orgánico en el Suelo se ha utilizado el “Protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial” elaborado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (Lattera, 2015).

ECOSER es una herramienta destinada al soporte en la toma de decisiones relacionadas al uso del suelo, así como a la investigación e integración disciplinaria y colaboración científica respecto a los flujos de Funciones Ecosistémicas y Servicios Ecosistémicos. Se enfatiza en la interacción y captura por la sociedad, así como la vulnerabilidad socioecológica bajo diferentes escenarios de pérdida de SE y FE. A los efectos de este estudio, se analizarán solo las FE ecosistémicas mencionadas anteriormente. Este instrumento fue elegido para el estudio de las FE dado a que es una herramienta sólida para el análisis de procesos del ordenamiento territorial del espacio rural y se destaca por ser accesible para cualquier usuario, contando con una gran cantidad de conocimientos acumulados que le otorgan validez y transparencia (Lattera, 2015).

El Almacenamiento de Carbono Orgánico en el Suelo es una de las FE estudiadas en el Protocolo y fue elegida debido a su relevancia en el Cinturón Verde de Mendoza al estar

relacionada con la fertilidad y aptitud agrícola. El Carbono orgánico del suelo (COS) determina el potencial de los sistemas agrícolas para un rendimiento sustentable en el tiempo. Está relacionado con la cantidad y disponibilidad nutricional del suelo, siendo el principal aportante de nitrógeno, mineral que en general se comporta como limitante en el sistema. También actúa como solubilizante de nutrientes al neutralizar el pH del suelo y, aquel que está asociado a la materia orgánica (MO), integra coloides de alta capacidad de intercambio iónico. El COS modifica las propiedades físicas del suelo, actuando en primer lugar sobre la estructura y porosidad (Martínez et al., 2008).

La presencia de COS en el suelo depende de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, vegetación, etc.) pero también existe una fuerte repercusión por parte del manejo del suelo, al ser producto de la incorporación al suelo de MO fresca, la salida de carbono (C) como CO<sub>2</sub>, la erosión y la lixiviación. EL COS permanece en el suelo como compuestos orgánicos estables (humus) y en agregados muy condensadas de composición similar al C elemental. Las condiciones aeróbicas incentiva la mineralización del C que ingresa al suelo acumulándose sólo una pequeña fracción del mismo como humus estable (Martínez et al., 2008).

A su vez el nivel del agua es un determinante de la densidad aparente del suelo ya que en suelos húmedos no saturados (el agua se encuentra por debajo de la superficie) se originan las condiciones óptimas para una mayor concentración de MO ralentizando la degradación e incentivando la agregación de partículas (Marulanda y Villa, 2015).

Con respecto a la Función de Retención de Exceso de Precipitación Geroy et al. (2011) destaca la importancia de la retención de agua por el suelo en ambientes semiáridos debido a que determina la cantidad del recurso hídrico que:

- se verterá en los cursos de agua adyacentes,
- que infiltrará recargando los acuíferos y
- que estará disponible para los cultivos en la época de crecimiento vegetativo.

La contribución de la FE de Retención provee principalmente dos SE que consisten en el abastecimiento de agua y la regulación del recurso hídrico, que son fundamentales para el ser humano y la agricultura (Guo y Gan, 2002).

Los datos de la retención de agua en el suelo son utilizados en investigaciones y aplicaciones en la rama de la hidrología, agronomía, meteorología, ecología, protección ambiental entre otros campos relacionados al suelo. La MO del suelo impacta en la estructura y en las propiedades relacionadas a la adsorción del mismo, por lo que la retención de agua está afectada por los cambios en la MO del suelo que se producen por el cambio climático y las prácticas de manejo que se le adjudican (Geroy et al., 2011)

La acumulación de MO en las primeras capas del suelo aumenta la porosidad y disminuye la densidad aparente favoreciendo el proceso de retención de agua. Como consecuencia, en aquellos humedales en los cuales se dan las condiciones adecuadas para una alta productividad de biomasa en conjunto con una descomposición lenta de la MO, las capas de suelo con compuestos orgánicos acumulan humedad, ralentizando los ciclos de secado-humectación del suelo (Campos et al., 2011).

El régimen de escurrimiento, es decir el agua que no infiltra y es almacenada, es uno de los principales factores estratégicos (drivers) en los sistemas ecológicos de los humedales determinando la distribución de la vegetación. Además, el almacenamiento de agua de inundaciones y precipitaciones anteriores en el suelo es uno de los principales actores en la regulación del régimen de inundaciones futuras (Chen et al., 2014).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

Las funciones seleccionadas para el estudio del área se analizan a través de la metodología adaptada del Protocolo Colaborativo de Evaluación y Mapeo de Servicios Ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica (ECOSER) para el ordenamiento territorial, el cual se encuentra detallado en el “Tutorial para el mapeo de funciones ecosistémicas y servicios ecosistémicos” (Lattera, 2015 y Barral, 2016).

El protocolo se basa en herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) siendo utilizados principalmente en este trabajo de investigación los software open-source (código abierto) Quantum Geographic Information System (QGIS- <https://qgis.org>) y System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA 2.1.2- <http://saga-gis.org>). El Protocolo original sugiere y provee las herramientas necesarias para realizar la cuantificación de las FE a través del software ArcGIS cuya adquisición es a través de una licencia paga. Es por ello que se recurrió a las herramientas provistas para QGIS debido a su condición de software libre y de código abierto que garantiza la replicabilidad del presente estudio por cualquier entidad que lo requiera en el futuro.

De este modo, se ponen en manifiesto las variaciones espaciales de las Funciones Ecosistémicas (FE) en la zona estudiada, generando información útil para la correcta guía de los tomadores de decisiones ante escenarios cambiantes y de alta presión antrópica.

Partiendo de la base del humedal potencial expuesto por Prieto et al. (2012) se debe realizar un análisis aplicando el Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) con el objetivo de visualizar la zona correspondiente al humedal actual como área de estudio.

La fórmula utilizada para el análisis de este índice fue la extraída de Li et al. (2014):

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red})$$

Teniendo en cuenta que este índice se calculó en una imagen Landsat 8 del 2019 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) las bandas utilizadas fueron:

$$\rho_{NIR} = \text{banda } 5$$

$$\rho_{Red} = \text{banda } 4$$

Debido a que el área estudiada provee funciones ecosistémicas concordantes con las de un humedal, y que sumado a esto, la aptitud agrícola de los suelos se está viendo afectada por el avance de la urbanización, se han tenido en cuenta las siguientes funciones (Barral, 2016):

### 5.1 Función Almacenamiento de Carbono Orgánico en Suelo

Para estimar la función ecosistémica de almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) se adaptará la metodología propuesta por el Intergovernmental Panel on Climate Change “IPCC” (IPCC, 2006a en Barral, 2016) que utiliza la siguiente ecuación:

$$COS_i = COS_{Ref} * F_{lu} * F_{Fmg} * F_a$$

Donde:

- **COS<sub>i</sub>** es la cantidad de COS (Mg/ ha) estimado en el pixel *i*,
- **COS<sub>ref</sub>** es el contenido de COS (Mg/ha) bajo la condición de referencia (vegetación nativa sin disturbar),
- **Flu** es el factor de cambio relacionado al tipo de cobertura/uso del suelo,
- **F<sub>mg</sub>** es el factor de cambio relacionado a las diferentes prácticas de labores y
- **F<sub>a</sub>** es el factor de cambio que representa los distintos niveles de aporte de C al suelo.

Se utilizaron los datos de 511 puntos que proveen información de la cantidad de materia orgánica (MO) expresada en porcentaje (%) y la profundidad (en cm) correspondientes a la capa 1, capa 2 y capa 3. Estos datos, del año 1963, fueron provistos por la Cátedra de Geomática de la Facultad de Ciencias Agrarias. Conjuntamente, se hizo uso de un archivo ráster que aporta información sobre la densidad aparente (DAP) en t/m<sup>3</sup> en los primeros 30 cm de suelo con geolocalización en un sector de Guaymallén. A los efectos del análisis de la función de Almacenamiento de Carbono Orgánico en suelo se utilizaron los datos de MO (%) de la capa 1, profundidad de la primera capa (m) y la DAP (t/m<sup>3</sup>). Estos datos fueron revisados y depurados previo al análisis con el software estadístico INFOSTAT ([www.infostat.com.ar](http://www.infostat.com.ar)).

El área de estudio considerada en el análisis de esta función es el buffer de 500 m alrededor de los puntos de muestreo que pertenecen al sector de los valores más altos de NDVI del humedal potencial.

Con el objetivo de obtener datos en todos los píxeles del área de estudio, se realizó una interpolación a partir de la información provista por los puntos georreferenciados en formato shape. Los atributos interpolados fueron: MO capa 1 y profundidad capa 1 a través de la herramienta “kriging” (krigeado) de SAGA 2.1.2. A tal fin, se realizó en primer lugar un variograma con cada uno de los atributos para extraer los valores “sill” (meseta), “range” (alcance) y “nugget” (pepita) necesarios para el uso del algoritmo “krigeado ordinario”.

Debido a que los datos de MO fueron tomados sobre un área bajo manejos históricos de suelo del Cinturón Verde de Mendoza, se adaptó el modelo propuesto por el IPCC adoptado en el Protocolo ECOSER, extrayendo los factores que afectan a la fórmula obteniéndose:

$$COS_i (g\%g) = MO(g\%g) * 0.58$$

En esta conversión se utilizó el factor de Van Bemmelen correspondiente a 0.58 (Eyherabide et al., 2014).

Una vez obtenido el COS<sub>i</sub>, en concordancia al Protocolo ECOSER, debemos transformar el mismo a Mg/ha o lo que es equivalente, a t/ha. Para ello necesitamos la masa de suelo en t/pixel obtenida a través de la siguiente fórmula:

$$Msuelo \left( \frac{T}{pix} \right) = Profundidad(m) * 900 \frac{m^2}{pix} * DAP \frac{T}{m^3}$$

Siendo:

- **Msuelo**, masa del suelo en t/pix
- **Profundidad**, profundidad de la capa 1 en metros
- **900 m<sup>2</sup>/pix**, el área en m<sup>2</sup> de cada pixel

- **DAP**, densidad aparente del suelo en t/m<sup>3</sup> obtenidos de INTA (Cara y Olmedo, 2019).

Los datos de DAP fueron provistos en un archivo ráster (.tiff) y solo abarca un sector del área de estudio. Para adquirir los datos pertinentes a toda el área de estudio, se empleó la siguiente herramienta de SAGA:

Geoprocessing ⇨ Shapes ⇨ Grid ⇨ Grid Values ⇨ Add grid value to points

En este procesamiento se utilizan como entradas los datos de MO en “Points” y la DAP en “Grid” obteniéndose como resultado un shape donde cada punto de MO que concuerda geoespacialmente con el ráster, ahora poseerá su correspondiente dato de DAP. Sin embargo, como no todos los puntos correspondientes al shape de MO poseerán este dato, se procede a realizar una regresión buscando el modelo que más se ajuste, siendo en este caso la regresión exponencial.

Con este modelo, se estiman los datos de DAP para los 511 puntos de MO. Posteriormente, se efectúa la interpolación a través del método de krigeado utilizando el variograma correspondiente y calculando las variables de sill (meseta), nugget (pepita) y range (alcance). La capa shape empleada en el proceso ahora tendrá como atributos para todos los puntos los datos correspondientes a las variables de MO y DAP. Con todas las capas interpoladas se cuantifica la masa del suelo.

Al producto obtenido se lo multiplica por la capa de COi (g%g) y se lo divide por 100 g de suelo obteniendo así el COSi (T/pixel), obteniendo como resultado la función ecosistémica deseada.

$$COSi_{t/pix} = \frac{Masa\ suelo_{t/pix} * COSi_{g\%g}}{100\ g}$$

Los cálculos fueron ejecutados para obtener la Función ecosistémica almacenamiento de carbono orgánico en suelo teniendo en cuenta la MO de la capa 1 y la profundidad de la capa 1. Por último, los valores son relativizados para obtener un rango entre 0 y 1 para elaborar una zonificación posterior.

$$FACO_{relat.} = \frac{FACO - mín.}{máx. - mín.}$$

Siendo:

- **FACO relat.**, Función de Almacenamiento de Carbono Orgánico
- **FACO**, capa de Función de Almacenamiento de Carbono Orgánico
- **Mín.**, mínimo valor que toma la función
- **Máx.**, máximo valor que toma la función

Para este caso particular:

$$FACO_{relat.} = \frac{FACO - 1.185}{23.918 - 1.185}$$

## 5.2 Retención de Excesos de Precipitación por Humedales

La función ecosistémica elegida se utilizará para jerarquizar los humedales en función de su capacidad potencial para retener excesos de precipitación. Los insumos necesarios (Barral, 2016) para su cálculo son los siguientes:

ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD (ITH): se realiza a partir de una capa ráster en el cual los valores del píxel corresponden al área de contribución, y otra capa con las pendientes obtenidas a partir de un Modelo Digital de Elevación (DEM) provisto por el IGN (<http://ign.gob.ar>).

ÁREA DEL HUMEDAL (AH): esta variable debe ser relativizada por ello se utilizará:

- como máxima el área considerada potencialmente humedal en el Cinturón verde de Mendoza como aquella que perteneció a la antigua Ciénaga del Bermejo (Prieto y Rojas, 2012),
- y el área actual como aquella determinada por los puntos de muestreo y NDVI.

La función ecosistémica propuesta por el Protocolo (Barral, 2016) considera sólo estos dos variables especificadas. Se asume que la capacidad de atenuación de inundaciones en un píxel de humedal depende del área del humedal al cual pertenece, y a su ubicación en la red de drenaje. Está representada por la siguiente ecuación:

$$REH_i = AH_i * ITH_i$$

Donde:

- **REH<sub>i</sub>**, es la capacidad de los humedales para retener excesos de precipitación en el píxel *i* y toma valores entre 0 (capacidad baja/ despreciable con respecto al resto de los humedales analizados) y 1 (capacidad máxima con respecto al área potencial).
- **AH<sub>i</sub>**, área del humedal al cual pertenece el píxel *i*, relativizado
- **ITH**, valor que toma el Índice Topográfico de Humedad en dicho píxel, relativizado.

### Índice Topográfico de Humedad Relativizado

El índice Topográfico de Humedad (ITH) fue propuesto por Beven y Kirkby (1979) con el objetivo de modelar la distribución espacial de la humedad en una cuenca. Debido a la relevancia de la topografía en cuanto al control de la variación espacial de las condiciones hidrológicas, el ITH ha sido ampliamente utilizado para modelar procesos. Tal es el caso de la distribución espacial de la humedad del suelo, determinación del escurrimiento superficial y determinación de áreas potenciales de inundación (Barral, 2016).

El ITH se basa en el escurrimiento partiendo de la variable topográfica, por lo que puede utilizarse para predecir aquellos sitios que puedan funcionar como rutas iniciales que llevarán a una posible inundación. El ITH combina la contribución al escurrimiento de un área local drenada y la pendiente de la misma a través de la siguiente fórmula:

$$ITH_i = \ln \left( \frac{a_i}{\tan \beta_i} \right)$$

El Protocolo identifica a la variable “*a<sub>i</sub>*” como el área que drena al píxel “*i*” y “*tanβ<sub>i</sub>*” como la pendiente direccional del píxel “*i*”. Este índice expresa parcialmente el volumen relativo y la cantidad de movimiento del flujo que pasará por cada punto del terreno (en el píxel *i*). A

medida que se aprecian mayores áreas drenadas, en combinación con menores pendientes, se incrementa la concentración y saturación hídrica de los suelos, presentando valores de ITH elevados. Estas zonas que generan gran escurrimiento superficial presentan mayor riesgo de inundación.

El ITH se calculó a través del modelo que se encuentra en QTOOLBOXES de ECOSER 2.1 (archivo model) a partir del ráster DEM provisto por el IGN y recortado con el shape del humedal potencial. Se realizó una adaptación del Protocolo generando las capas de “área de contribución” en SAGA y “pendiente” en QGIS.

Debido a que el modelo solicita pendientes sin cero a través de la calculadora ráster se eliminan estos valores al sumar la cifra 0.00001.

Para relativizar esta variable se utiliza la siguiente fórmula en la calculadora ráster de Qgis:

$$ITH_{relativ.} = \frac{ITH - mín.}{máx. - mín.}$$

Siendo:

- **ITHrelativ.**, Índice Topográfico de Humedad del área de humedal potencial;
- **ITH**, capa de Índice Topográfico de Humedad;
- **mín.**, mínimo valor absoluto de ITH;
- **máx.**, máximo valor absoluto de ITH.

Y reemplazando:

$$ITH_{relativ} = \frac{ITH - 3.613}{18.03 - 3.613}$$

### Área del humedal relativizada

La siguiente variable necesaria para el cálculo de la función es el área del humedal relativizada que se obtuvo con la siguiente fórmula en la calculadora ráster de Qgis:

$$Área_{relativ.} = \frac{área act. - área mín.}{área pot. - área mín.}$$

Dónde:

- **área relativ.**, es la capa del área relativizada;
- **área act.**, es el área actual de estudio que fue obtenida en el análisis de la capa de NDVI, esta zona fue rasterizada con el valor único del área que ocupa en metros cuadrados;
- **área pot.**, es el área potencial o área de humedal histórica definida por Pietro et al. (2008), obtenida a través de la rasterización de la capa vectorial de la zona estudiada cuyo único valor es el área de la misma en metros cuadrados;
- **área mín**, corresponde al humedal de área mínima que en este caso es 0.

Para el caso de estudio:

$$\text{Área}_{relativ.} = \frac{\text{área act.} - 0}{\text{área pot.} - 0}$$

Una vez obtenidas ambas capas se procede a ejecutar el modelo Función Ecosistémica de Retención de Exceso de Precipitación sugerido por el Protocolo ECOSER.

Para concluir con la investigación, se llevó a cabo una zonificación por medio de la multiplicación de las dos funciones analizadas, y se procedió a la utilización de la herramienta “simple filter” en QGIS para una mejor visualización de las zonas. La clasificación elegida fue por cuantiles en tres clases.

### 5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.4 Análisis del área de estudio

En el mapa presentado a continuación, podemos observar las dos áreas de estudio, que consisten en el muestreo de MO y el área del humedal potencial o “antigua Ciénaga del Bermejo” (Figura N° 5).

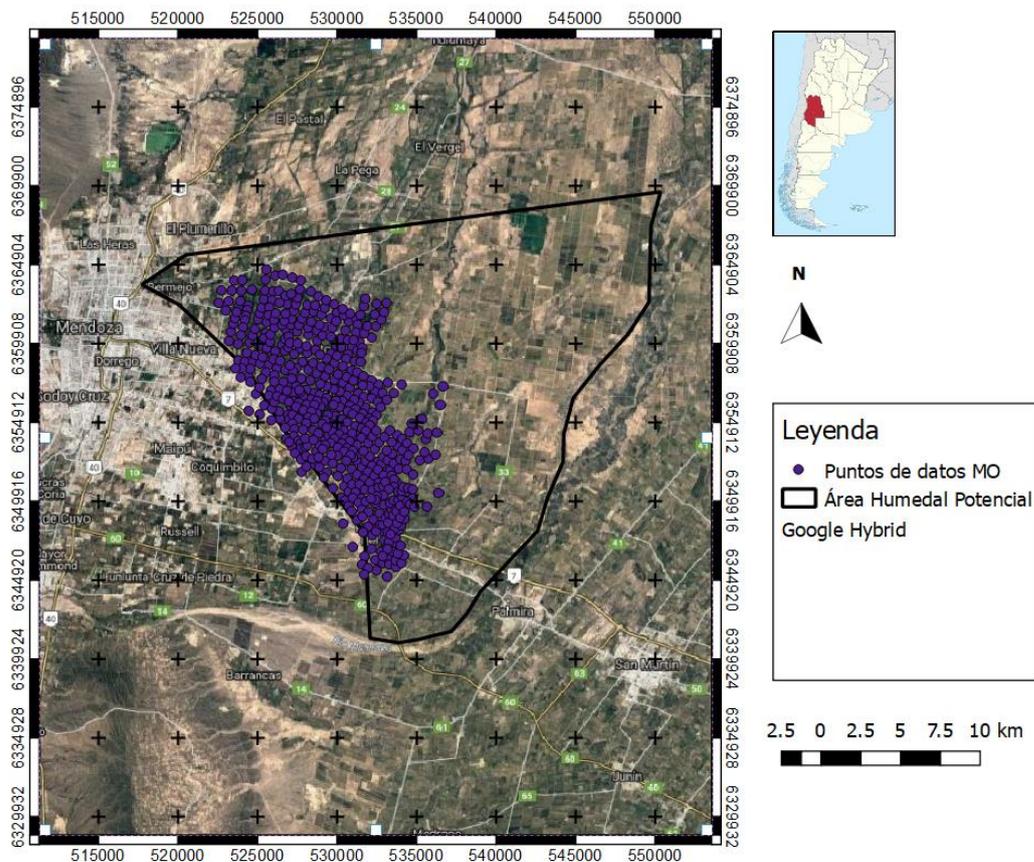


Figura N° 5 Área de cobertura de datos de MO y Área del Humedal Potencial o “Antigua Ciénaga de Bermejo”- Cinturón Verde de Mendoza. Elaboración propia

Como producto del proceso de cálculo de NDVI en el área del humedal potencial (Prieto et al., 2012) se obtiene como resultado el siguiente mapa:

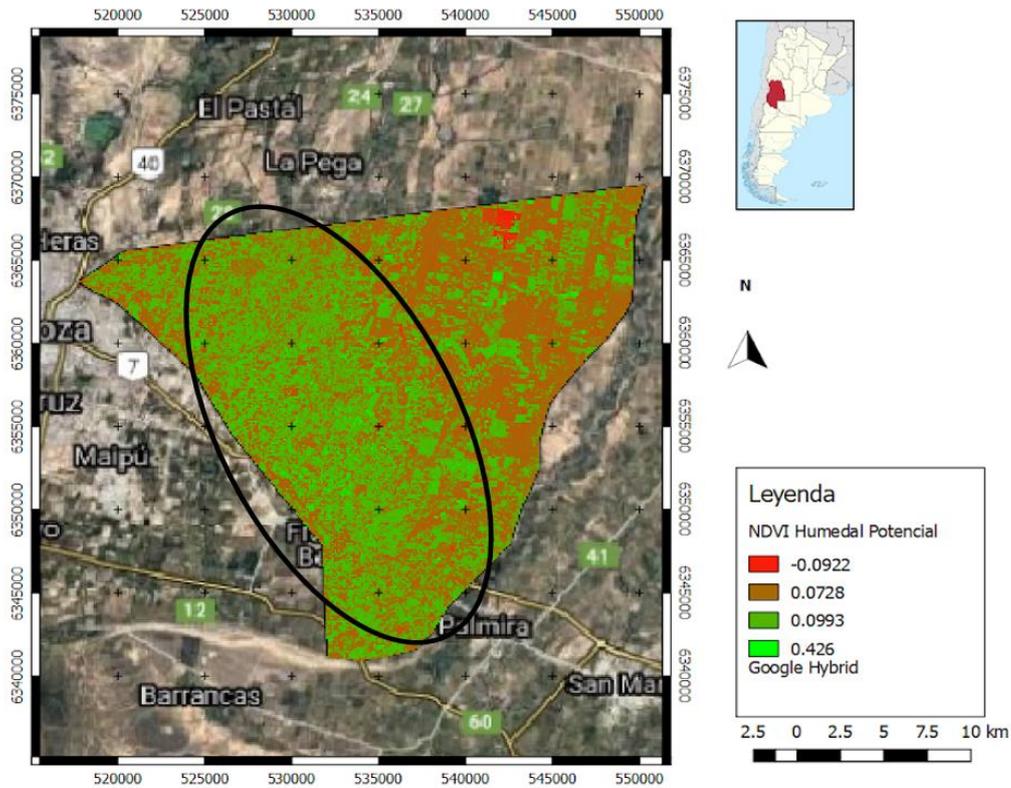


Figura N° 6 NDVI del área del humedal potencial. Elaboración propia

En la figura 6 se destaca una zona homogénea correspondiente al área del humedal actual de mayores valores de NDVI. Estos valores son producto de un suelo con gran área de cobertura, correspondientes a zonas de cultivo y una humedad alta en el suelo.

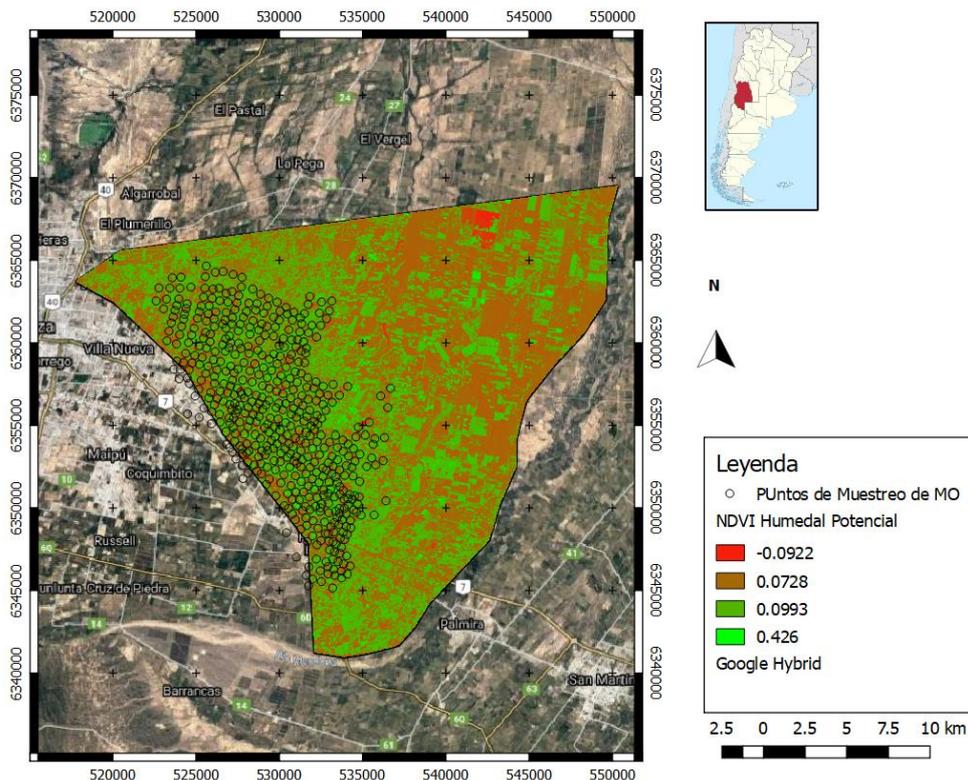


Figura N° 7 NDVI y puntos de muestreo de MO. Elaboración propia

En el mapa anterior podemos visualizar que el muestreo de MO se adapta a la zona homogénea del humedal actual, usándose esa área en la función Almacenamiento de Carbono Orgánico en Suelo.

### 5.5 Función de almacenamiento de carbono orgánico en suelo

Se construyó un mapa con los puntos conteniendo los datos de MO y profundidad en los primeros 30 cm de suelo y se realizó una tabla con medidas resumen de dichos datos.

Tabla N° 1 Medidas resumen de datos utilizados en la función Almacenamiento de Carbono orgánico en suelo

Medidas resumen	n	Media	D.E.	Mín.	Máx.
Profundidad capa 1 (cm)	511	26,01	4,89	0,00	30,00
Profundidad total (cm)	511	235,07	90,79	0,00	430,00
MO (%) capa 1	511	3,81	3,48	0,00	28,84
MO (%) promedio	511	0,98	1,10	0,00	9,86

Fuente: Elaboración propia

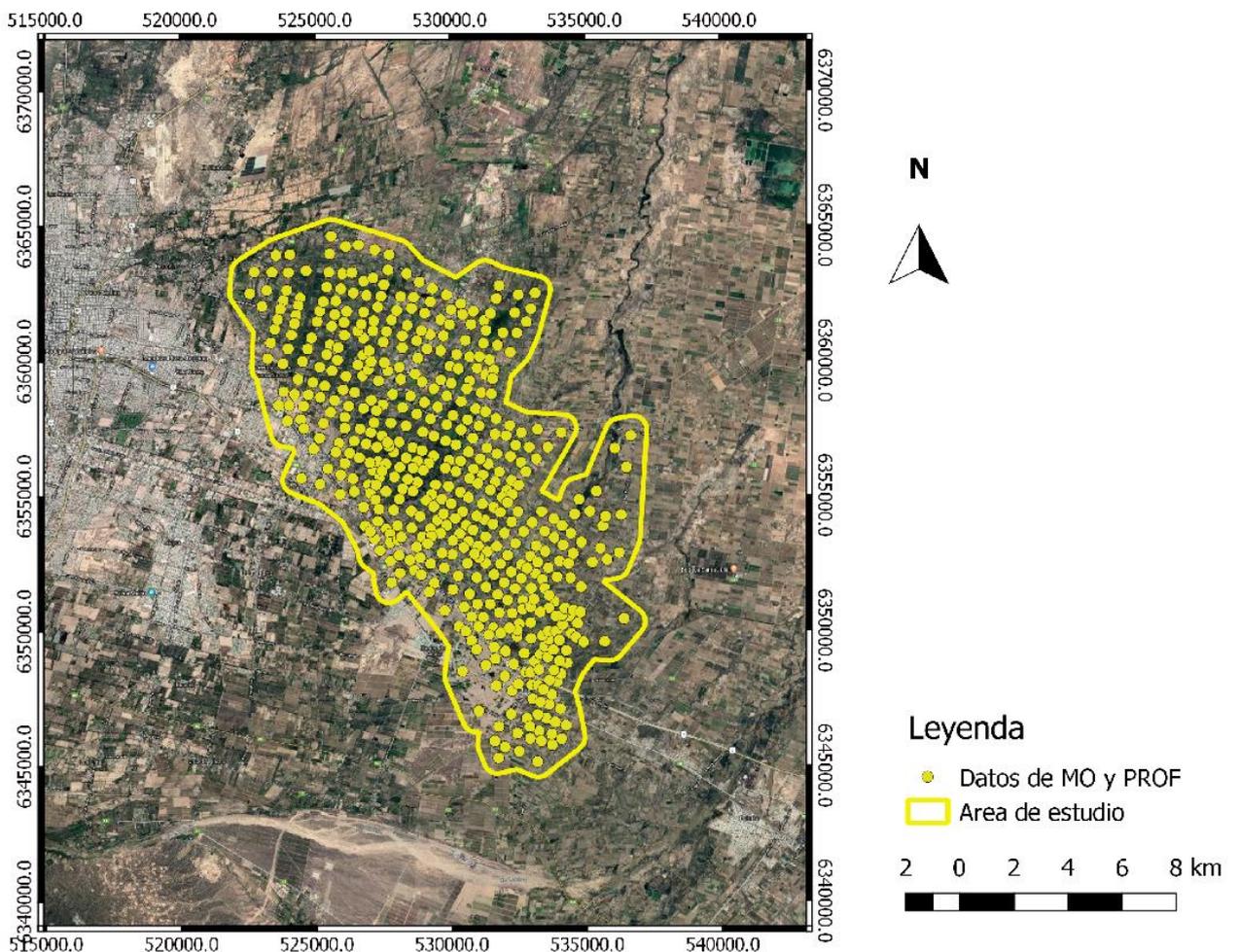


Figura N° 8 Mapa de puntos de MO y Profundidad a 30 cm. Elaboración propia

En un principio se realizaron los variogramas de cada variable para obtener los valores de pepita (nugget), sill (meseta) y range (alcance) presentados en la tabla N°2 y N°3

Tabla N° 2 Valores de parámetros para Profundidad a 30 cm

Parámetro	Profundidad 1
sill	25
nugget	22
range	2300

Fuente: Elaboración propia

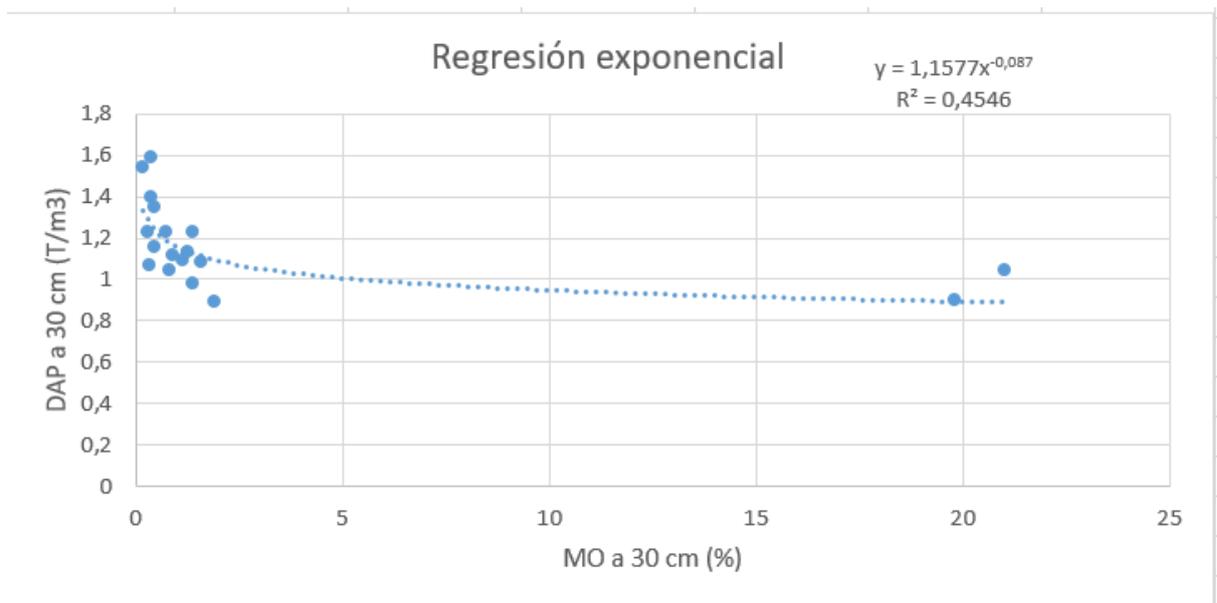
Tabla N° 3 Valores de parámetros utilizados en kriging para MO a 30 cm

Parámetro	MO capa 1
sill	15.5
nugget	6
range	3700

Fuente: Elaboración propia

La regresión exponencial de DAP respecto a MO para obtener todos los datos necesarios para continuar con el procedimiento se encuentra a continuación:

Gráfico N° 3 Modelo de regresión exponencial DAP respecto a MO a 30 cm



Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos estos valores se realizó la interpolación para ambas variables obteniendo los siguientes mapas:

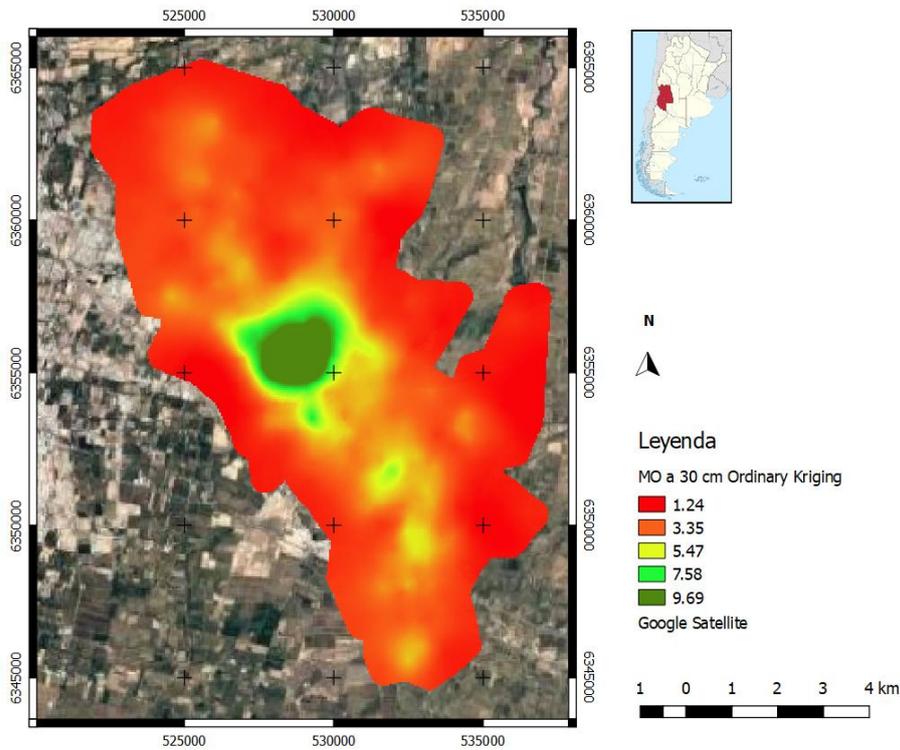


Figura N° 9. Materia Orgánica a 30 cm (%) en el Cinturón Verde de Mendoza. Elaboración propia

Debido a los datos atípicos que presenta esta muestra, se hizo uso del corte del conteo acumulativo para evitar el sesgo de la misma. Se puede observar que hacia el centro del área de muestreo se corresponden los valores más elevados de porcentaje de materia orgánica en la zona de Aldea La Primavera y alrededores.

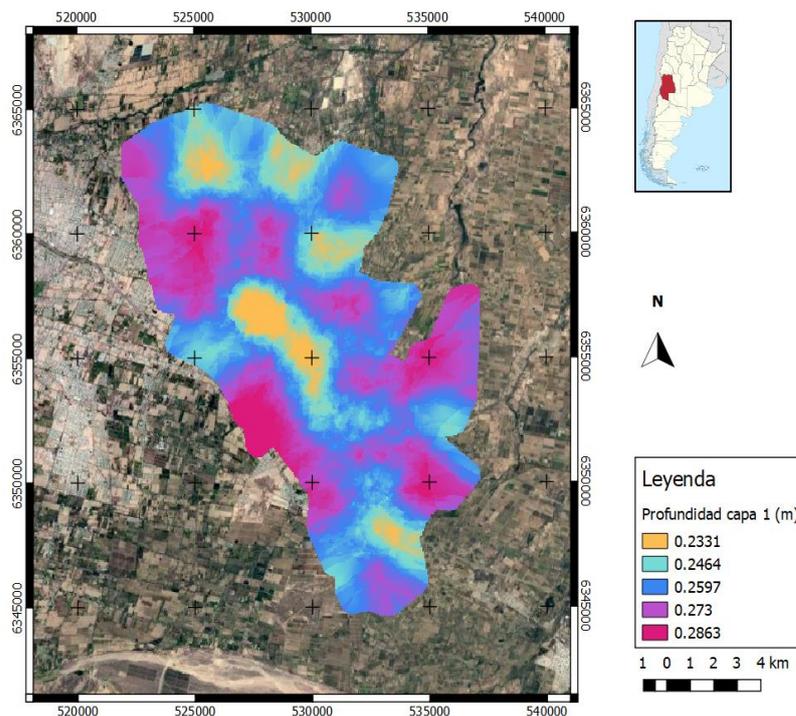


Figura N° 10 Profundidad de la capa 1 (en m) y puntos de muestreo en el Cinturón verde de Mendoza. Elaboración propia

En el mapa anterior podemos observar sectores donde la capa 1 presenta valores de menor profundidad en las zonas de Corralitos, Aldea La Primavera y Fray Luis Beltrán y con mayor profundidad entre los distritos de Coquimbito y Rodeo del Medio.

En la Figura N° 11 podemos observar la capa ráster con los datos de DAP en t/m<sup>3</sup> provista por INTA (Cara y Olmedo, 2019) que no abarca todo el área de estudio.

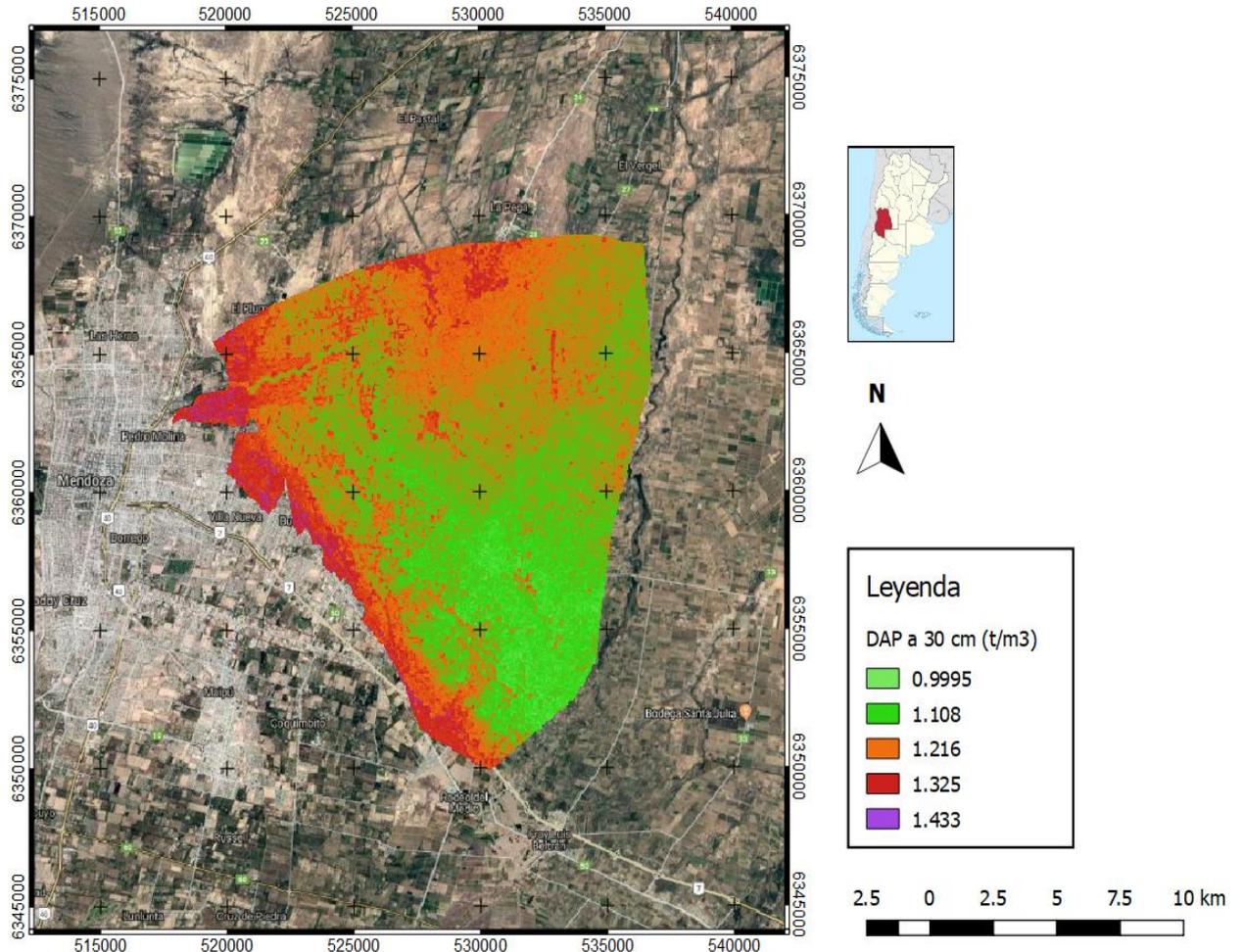


Figura N° 11 . DAP (t/m<sup>3</sup>) en Cinturón verde de Mendoza. Fuente INTA (Cara y Olmedo, 2019). Elaboración del mapa propia.

Las densidades aparentes que podemos inferir del mapa tienen una tendencia a decrecer de SO a NE y de N a SE. A partir de los datos del variograma de sill (meseta), nugget (pepita) y range (alcance) (Tabla N° 4) se obtuvo por el método de krigado la interpolación de los datos de DAP respecto de la MO en la capa 1 para todo el área de estudio (Figura N° 12).

Tabla N° 4. Valores de parámetros utilizados en kriging para DAP a 30 cm

Parámetro	Profundidad 1
sill	0.0050
nugget	0.0024
range	4000

Fuente: Elaboración propia

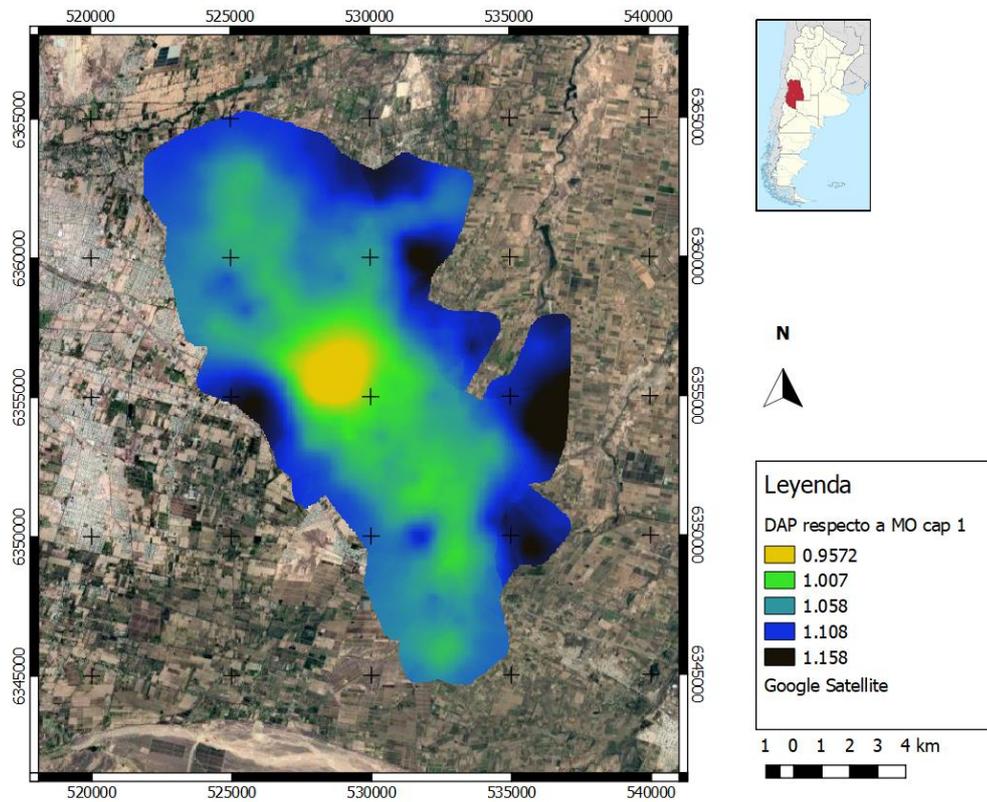


Figura N° 12. DAP respecto a MO (capa 1). Elaboración propia

Habiendo obtenido las capas de DAP, de profundidad para todos los puntos del área de estudio, y teniendo en cuenta la superficie en m<sup>2</sup> de cada pixel, se procede a calcular la masa del suelo en t/pixel (Figura N° 13)

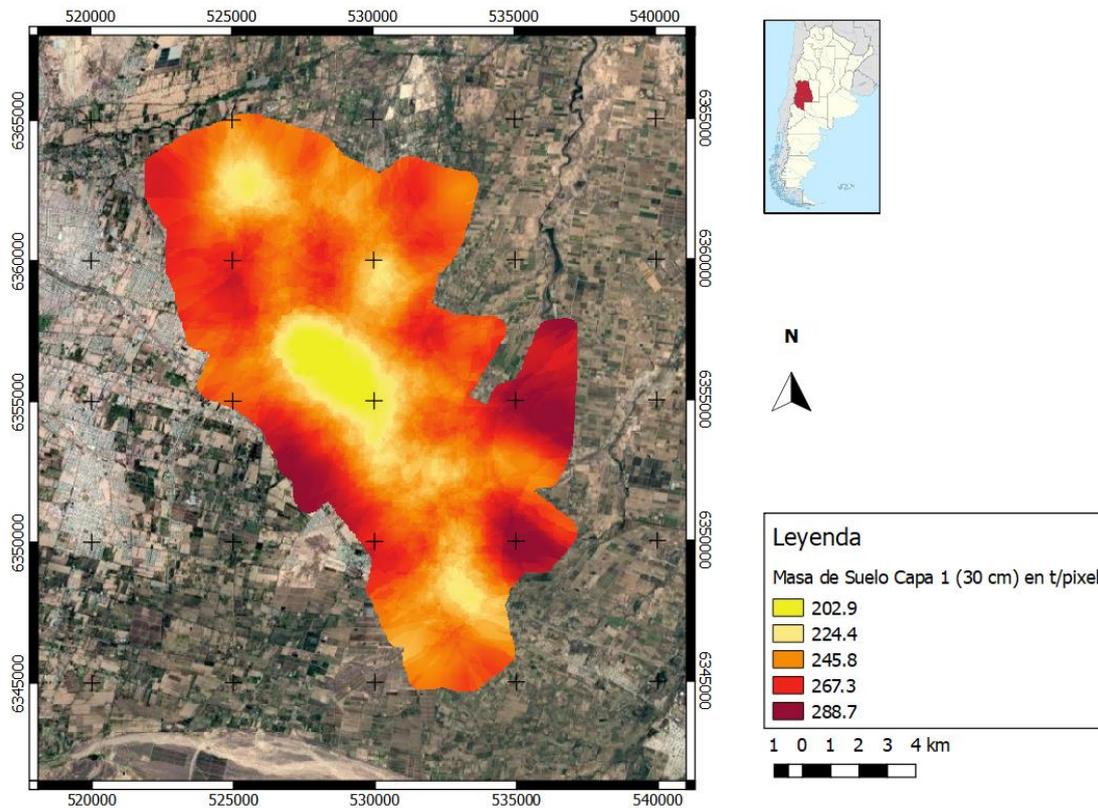


Figura N° 13 Masa de Suelo en la capa 1 (t/pixel) en Cinturón Verde de Mendoza. Elaboración propia

En este mapa podemos observar que aquellas zonas donde la densidad aparente es menor, corresponden a una menor masa de suelo (hacia el centro del área de estudio).

Una vez obtenido esta capa podemos modificar la Función de Almacenamiento de Carbono Orgánico detallada por el COSi (g%g) a las unidades de COSi (t/pixel) (Figura N° 14). Debido a la existencia de datos atípicos se utilizó el corte de conteo acumulativo, obteniendo una mejor visualización de la Función. Las zonas que presentan mayores valores son los distritos de la "Aldea La Primavera" y "Fray Luis Beltrán" (entre 7 y 12.4).

Como último paso se relativiza la Función para la posterior zonificación (Figura N° 15) haciendo uso de los valores absolutos.

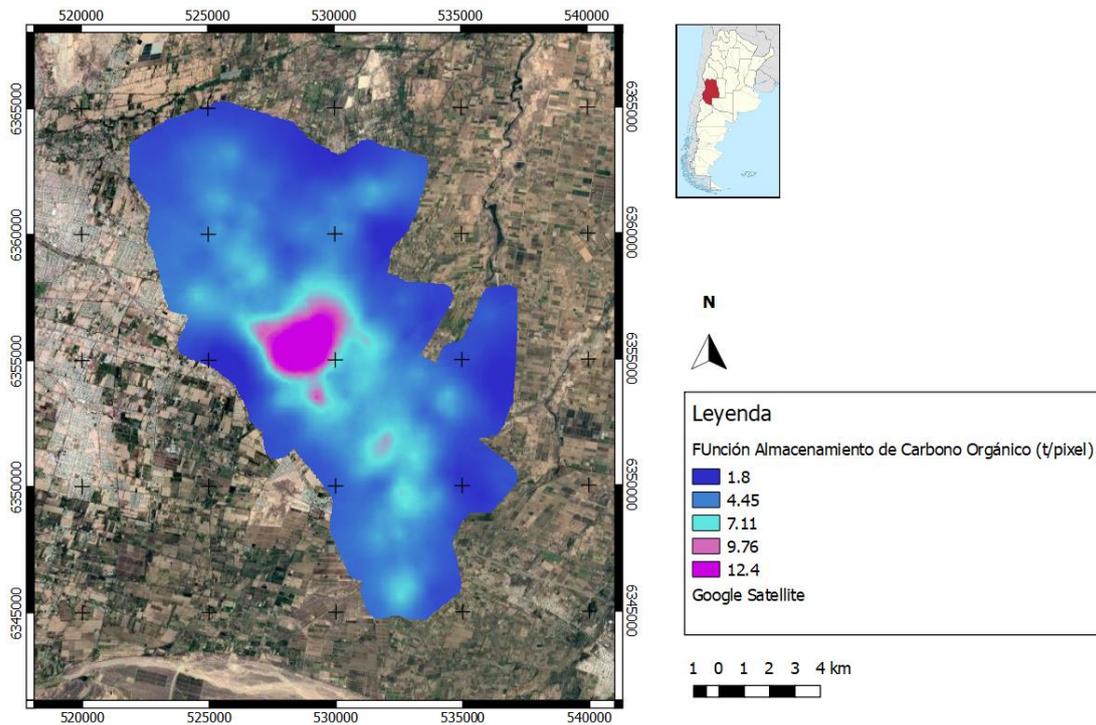


Figura N° 14 Función de Almacenamiento de Carbono orgánico a 30 cm - Cinturón Verde de Mendoza. Elaboración propia

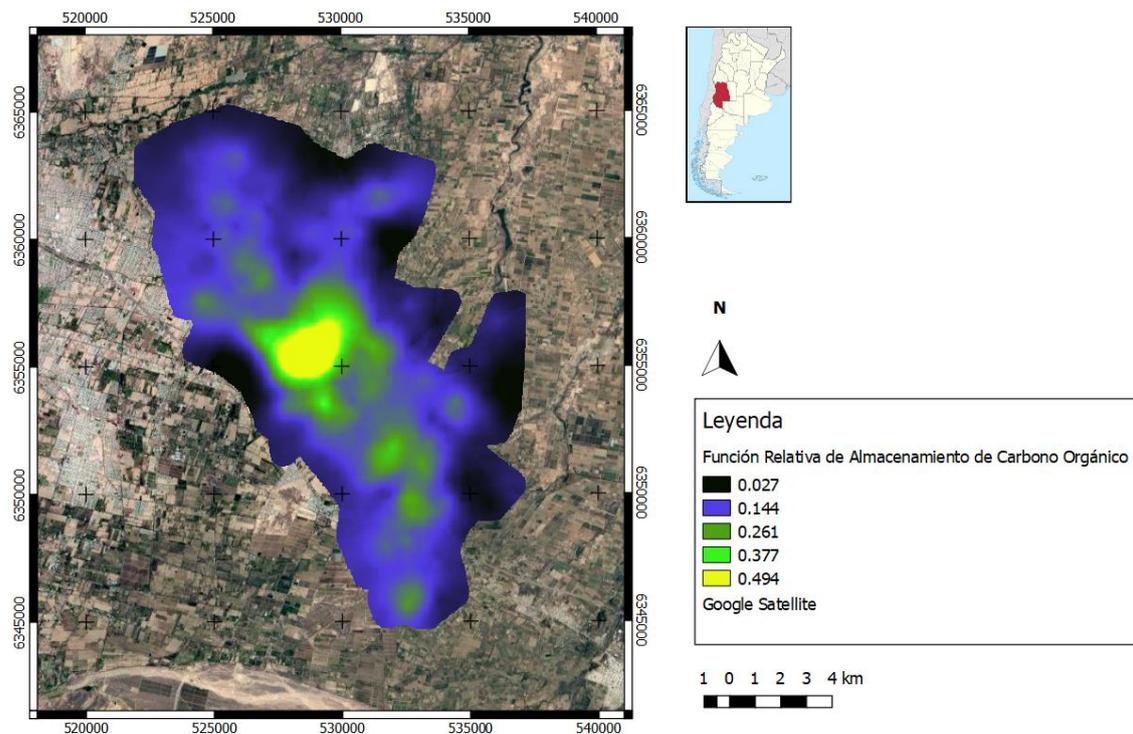


Figura N° 15 Función relativa de Almacenamiento de Carbono Orgánico en suelo a 30 cm- Cinturón Verde de Mendoza. Elaboración propia

## 5.6 Función de Retención de Exceso de Precipitación por Humedales

En principio tomaremos el área de estudio para esta función como aquella estipulada en Prieto et al. (2008) correspondiente al humedal potencial o antigua Ciénaga del Bermejo (Figura N° 16).

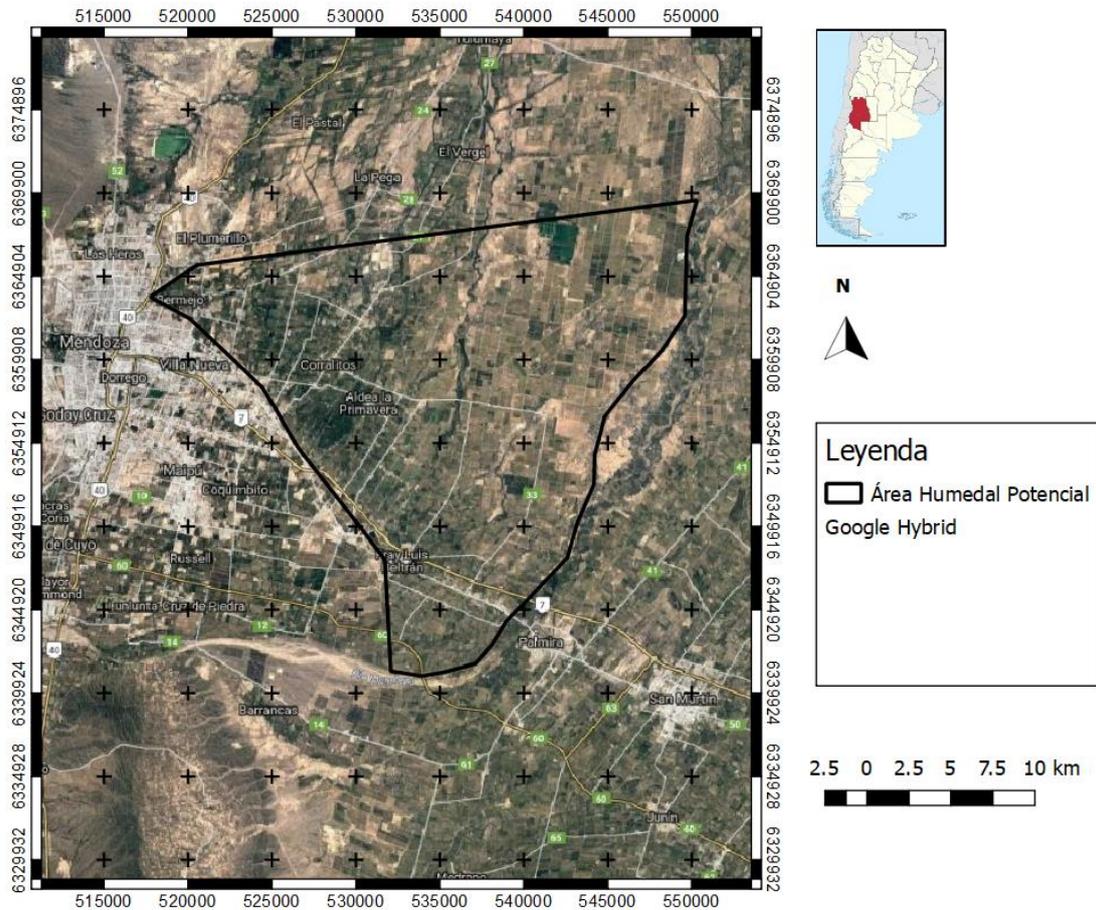


Figura N° 16 Área Potencial del Humedal. Fuente: Prieto et al. (2008). Elaboración propia

El cálculo del Índice Topográfico de Humedad (ITH) se realiza a partir de un Modelo Digital de Elevación (DEM) provisto por el Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2016) que ya posee un preprocesamiento. El DEM es recortado con la capa de humedal potencial y se obtiene el siguiente mapa:

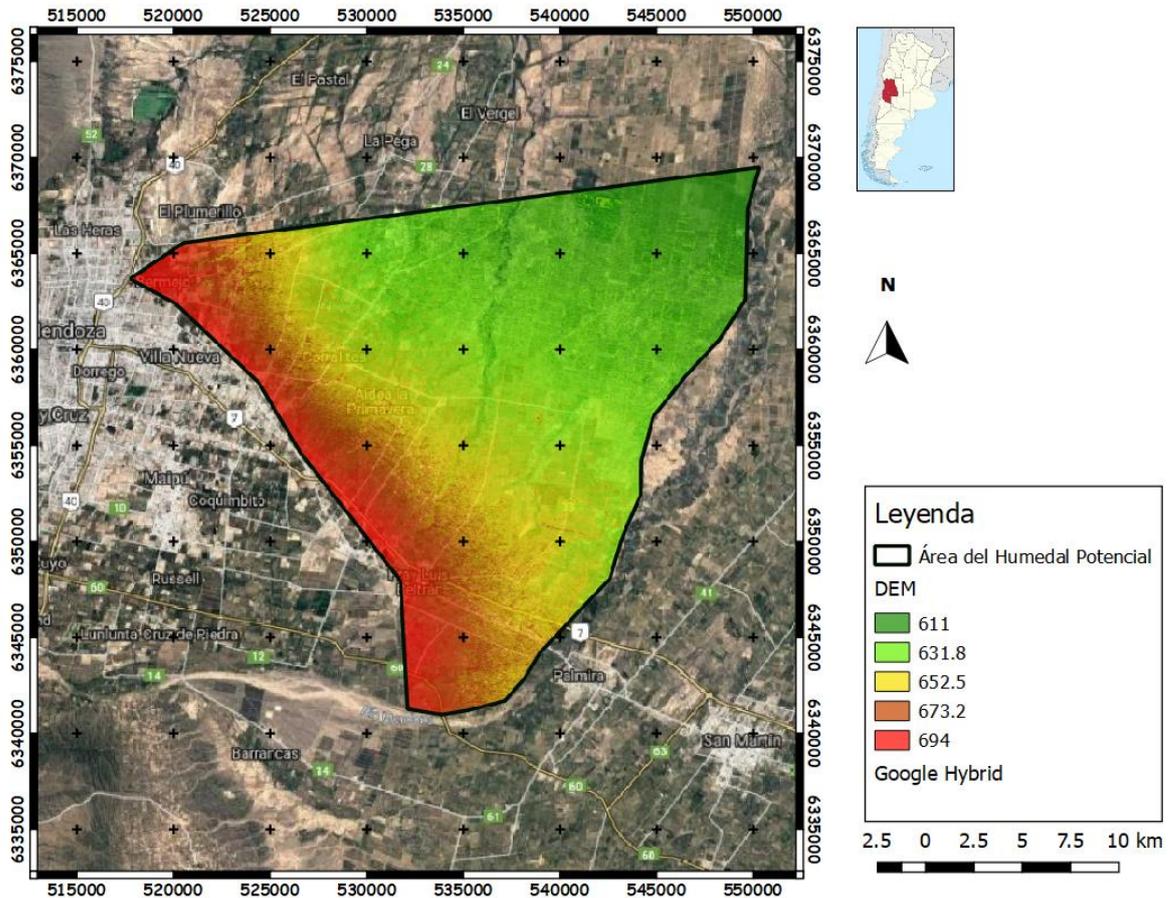


Figura N° 17. Modelo Digital de Elevación (DEM)- IGN- Área Humedal Potencial. Elaboración propia

Se puede observar la disminución de la altura en sentido SO a NE acorde el área de estudio se aleja de los cordones montañosos. De la construcción del ITH y su relativización (Figura N°18 y 19) se observa que los valores más altos del ITH pertenecen a los cauces naturales de la región. En estas zonas donde se combinan menores pendientes y mayor área drenada, existe una mayor concentración y saturación hídrica en suelos (Barral, 2016).



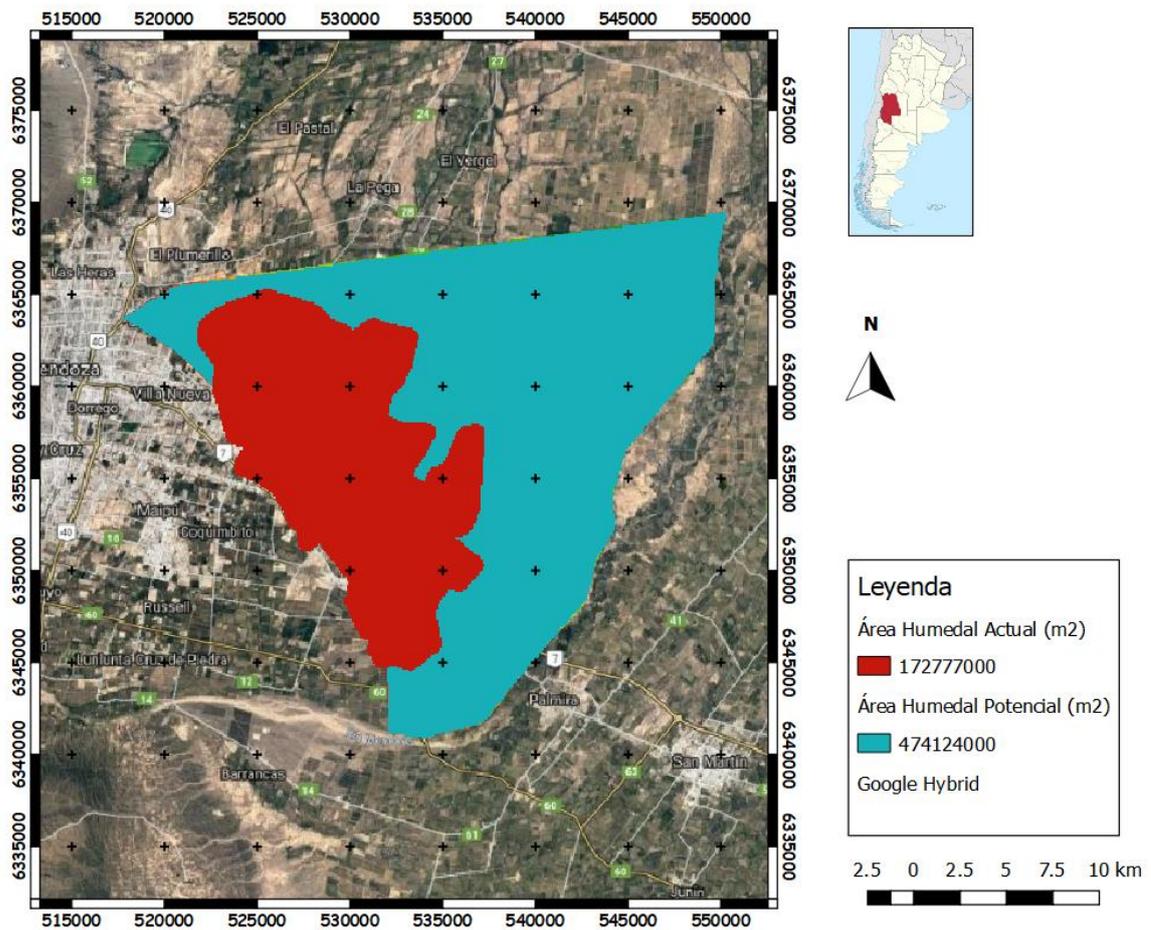


Figura N° 20 Mapa de Áreas Potencial y Actual del Humedal. Cinturón Verde de Mendoza. Elaboración propia

En la Función de Retención de Exceso de Precipitación (Figura N° 21) se puede observar en color amarillo y verde claro las zonas donde se presenta mayor retención de precipitación correspondiente a los cauces naturales. Esta función ya se encuentra relativizada debido a que cada una de las variables de la fórmula utilizada también lo están.

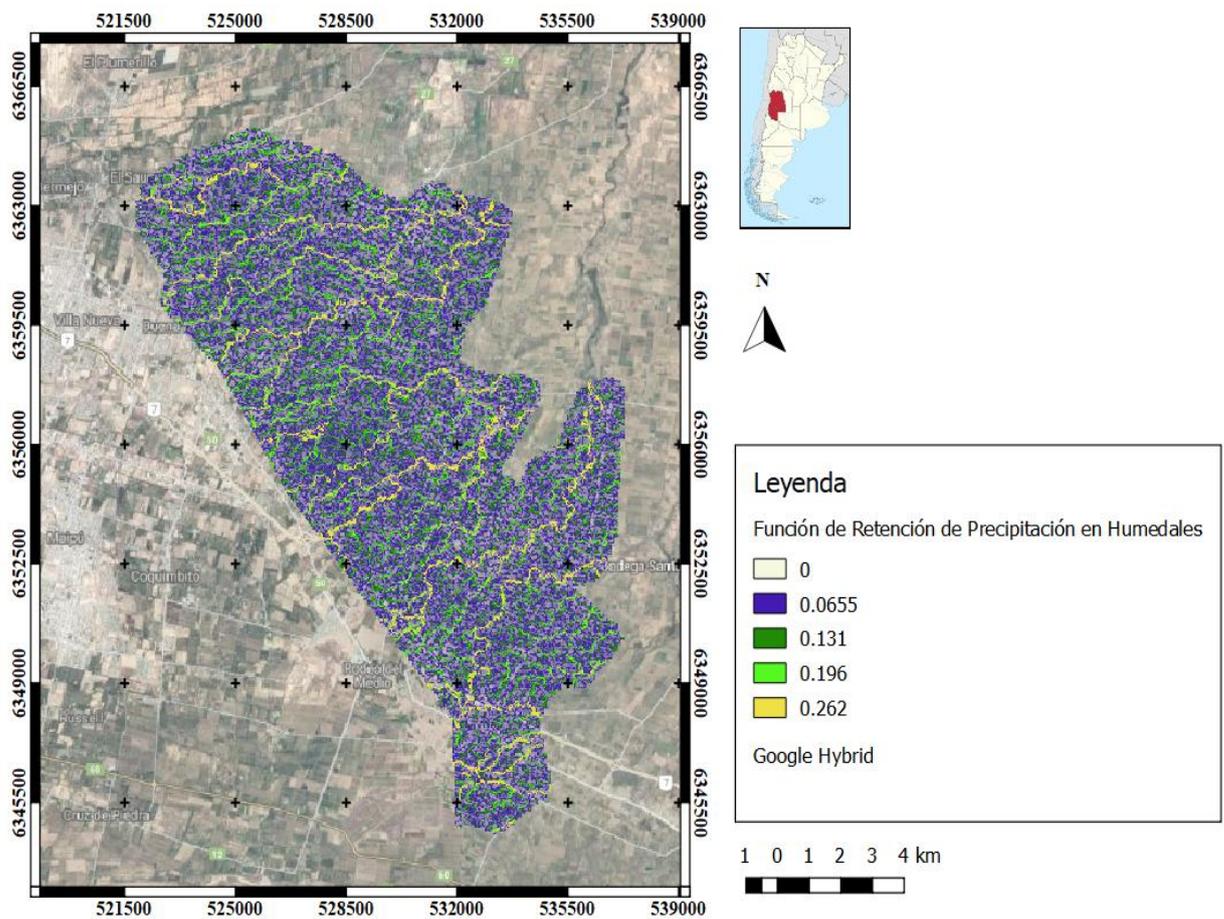


Figura N° 21 Función de Retención de Precipitación en Humedal relativizado en el Cinturón Verde de Mendoza. Elaboración propia

Por último, producto de la multiplicación de las dos funciones relativizadas, se procedió a la zonificación del Cinturón Verde de Mendoza en el área estudiada (Figura N° 22). En la zona exterior del área se observa que los valores de esta multiplicación son menores y van aumentando a medida que nos dirigimos al centro de la misma (entre los distritos de KM 8 y Aldea La Primavera). Si observamos los mapas de las dos funciones relativizadas, podemos concluir que aquella que más impacto tiene en la zonificación es la Función de Almacenamiento de Carbono Orgánico. Esto se produce debido a la presencia de valores altos de COS que se presentan hacia el interior del área de estudio en comparación con el resto de las zonas.

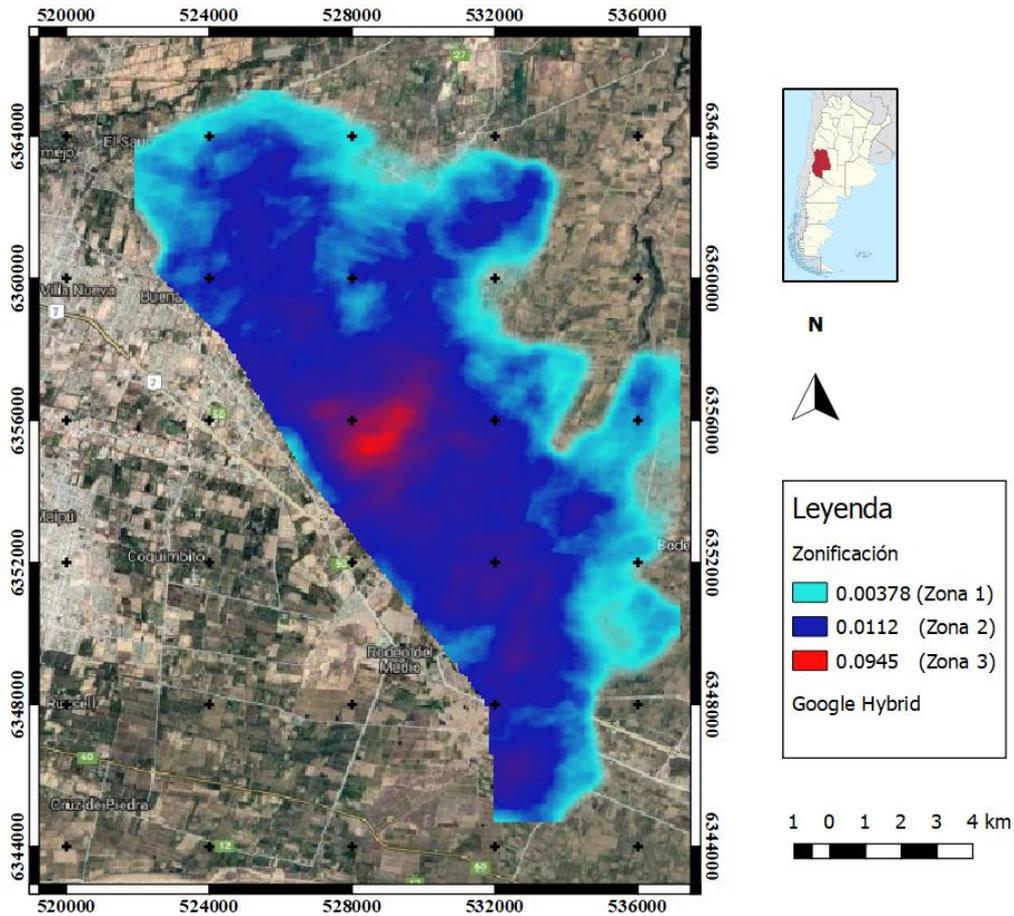


Figura N° 22 Zonificación en base a Funciones de Almacenamiento de Carbono Orgánico y Retención de Exceso de Precipitación. Elaboración propia

Desde la perspectiva de la planificación del Ordenamiento Territorial, podemos considerar la Zona 1 de la zonificación como un “área de sacrificio” debido a que por las condiciones ambientales y/o antrópicas, las FE analizadas poseen valores menores que hacia el centro del área de estudio. Al examinar el avance urbano sobre el humedal relativizado observados que los principales núcleos urbanos se ubican principalmente entre la zona 1 y 2. Sin embargo, también se observa la cercanía del distrito de KM 8 a Zona 3 que es aquella que posee mayores valores en las FE que provee, por lo cual debería ser prioritario controlar y redirigir el avance de ese núcleo hacia el SO.

En la Figura N° 23 se ha desplegado el mapa de zonificación según los valores de las Funciones analizadas, en los sectores que abarcan de los departamentos de Guaymallén y Maipú. Se destaca la presencia del área crítica (Zona 3) en el extremo sur del departamento de Guaymallén. Es por ello, que las decisiones más importantes en cuanto a la preservación del área que provee valores más altos de las FE deberán ser planificadas y ejecutadas por este Municipio. Sin embargo, las decisiones del Cinturón Verde de Mendoza, contemplado como agroecosistema, deberán ser debatidas por todos los municipios en los que se localiza y tomadas en consideración en cada uno de los Planes de Ordenamiento Territorial municipales.

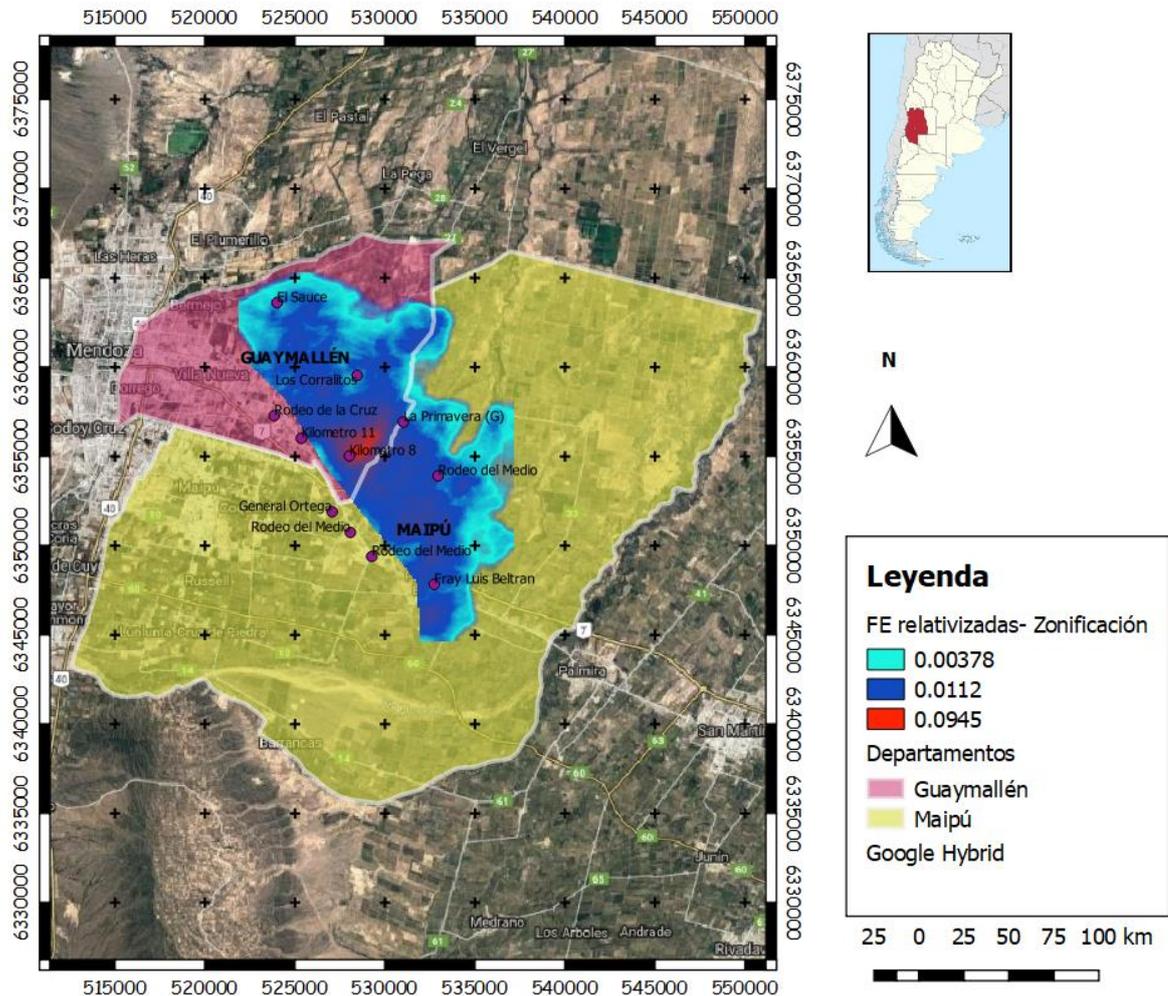


Figura N° 23 Localización de Zonificación de Funciones ecosistémicas relativizadas. Elaboración propia

De acuerdo al estudio de Kreuter et al. (2001), la expansión urbana no impacta necesariamente de manera negativa en los SE, siempre que haya un incremento en la extensión de otros usos del suelo que proveen mayor cantidad de SE (y por lo tanto de FE). Lo fundamental en este aspecto, radica en la premisa en la cual el crecimiento urbano seguiría aumentando, por lo que la conversión de uso de tierra a urbano y suburbano inevitablemente también aumentaría. Concretamente en el área de estudio, existe indudablemente expansión urbana, y además, resulta claro la presencia de FE relevantes que aportan gran cantidad de SE a la población. En la relación a la idea anterior, el Ordenamiento Territorial debería prever al área del Cinturón Verde exenta de nueva urbanización (principalmente la zona 2 y 3), o en su defecto, debería ser bien planificada.

Peng et al. (2018) ejemplifica el caso desarrollado en China en el cual el objetivo principal, fue mitigar el conflicto de demanda de tierras por parte de la agricultura y la construcción urbana. Para ello, se generaron estrategias de manejo que instaban al crecimiento urbano en las zonas de baja pendiente, preservando la llanura para uso exclusivamente en el cultivo. Como consecuencia de esta planificación del territorio, ninguna de las actividades se vio afectada.

En este estudio también se enfocan en las estrategias que se proponen para la sustentabilidad ecológica regional a través de la interrelación de los patrones de paisaje y los procesos ecológicos, comparando la importancia de los diferentes sectores del paisaje con los procesos ecológicos y SE. El fin de esta planificación es la identificar aquellas áreas

fuentes prioritarias que proveen sustentabilidad, seguridad y provisión de SE regionalmente.

Las proyecciones de acuerdo a los estudios de Zubair et al. (2017) indican a futuro, una considerable reducción de las tierras agrícolas y de pastizales, convertidos en ambientes urbanos. Además, indican la necesidad de emplear estrategias para la conservación y mitigación de la transformación de estas actividades debido a que son las que sostienen a la población local.

En relación con este tema, en los nuevos modelos de gestión, se requiere la activa participación de todos los actores de la sociedad, siendo fundamental su incorporación en las decisiones del territorio local. Los ciudadanos son los actores principales que, desde la perspectiva de sus necesidades, organizan el territorio. Desde este punto de vista, se debe tener presente la importancia de las uniones vecinales y organizaciones no gubernamentales que están estrechamente relacionadas con los ciudadanos y sus intereses. Por otro lado, los actores privados (asociaciones intermedias y empresas) también son relevantes en el ordenamiento del territorio así como la participación del Estado con un rol administrativo y conductor del desarrollo (Segura et al., 2003).

Además de tener identificados los actores sociales que deben participar en la ordenación del territorio, es necesario determinar los principales factores que facilitan la expansión urbana, y los campesinos deben obtener incentivos que desalienten la transformación del uso del suelo productivo. Sin estos estímulos, los impactos negativos del avance de la ciudad sobre el territorio rural podrían ser identificados y cuantificados, pero aún así ocurriría la expansión urbana descontrolada disminuyendo la provisión de SE (afectando las FE) debido al cambio del uso del suelo (Kreuter et al., 2001)

Con respecto a las Funciones ecosistémicas estudiadas se puede advertir en los mapas una relación entre la Retención de Exceso de Precipitación y el Almacenamiento de Carbono Orgánico en el Suelo. Esto se encuentra en concordancia con el estudio realizado por Rawls et al. (2003) el cual manifiesta el hecho de que el contenido de carbono orgánico sería una propiedad del suelo relevante con respecto a la retención de agua en el suelo. Esto podría estar relacionado con el efecto estructurante que tiene la MO, modificando la retención de agua con el suelo cercano a la capacidad de campo en mayor medida que en el punto de marchitamiento.

## **6. CONCLUSIÓN**

En relación a la problemática expuesta, se concluye el cumplimiento de la hipótesis planteada se cumple dado a que es posible hacer una zonificación en un sector del Cinturón Verde de Mendoza a partir del análisis cuantitativo de las Funciones Ecosistémicas de Almacenamiento de Carbono Orgánico en el Suelo y de Retención de Exceso de Precipitación. La adaptación del Protocolo ECOSER utilizado en la estimación de los valores de las FE empleando el software QGIS se adecua a los objetivos de este trabajo de investigación. Esto sucede fundamentalmente, por su condición de software libre y de código abierto, garantizando la posibilidad de replicabilidad del presente estudio por cualquier entidad y en el tiempo.

Se tomaron dos áreas de estudio para el análisis de las FE que consisten en aquella referente al humedal actual donde se tomaron las muestras de MO y el humedal potencial o antigua Ciénaga de Bermejo. De la zonificación podemos observar que la FE con mayor impacto es la de Almacenamiento de Carbono Orgánico cuyos valores más elevados se ubican entre los distritos de la Primavera y Kilómetro 8. Con respecto a la FE de Retención de Precipitación se observan valores elevados en zonas muy específicas y estrechas coincidentes con los cauces naturales del territorio.

Los sectores que poseen valores más bajos de las FE analizadas se ubican hacia el exterior del área de estudio y corresponde a la zona más impactada y con menor aptitud agrícola por lo que sería apta para el crecimiento urbano. Con respecto a la zona 2, con valores de las FE intermedios, se puede observar la presencia de núcleos urbanos y una mejor aptitud agrícola por lo que ambos usos del suelo podrían coexistir otorgando prioridad a los cultivos. Por último, la zona con mayor provisión de FE es la central, donde todavía no hay un gran avance en las construcciones por lo que se debería preservar a través del otorgamiento de incentivos a los agricultores para poder competir con la presión inmobiliaria.

Sobre la base de las ideas expuestas se advierte que, la existencia de un humedal en el Cinturón Verde de Mendoza, es un factor que no se ha tenido en cuenta al permitir el avance indiscriminado de las construcciones urbanas, perdiéndose FE y sus consecuentes SE. La recarga de acuíferos es otra contribución importante que proveen este tipo de ecosistemas, especialmente en la zona del Cinturón Verde, que es uno de los pocos ambientes del Gran Mendoza que se caracteriza por poseer abundante recurso hídrico subterráneo y de surgente. Este proceso es crítico en estos climas como el de la provincia, por lo que los humedales deben ser protegidos para que no pierdan sus funciones, a la vez que se vela por el desarrollo de la población.

El presente trabajo incentiva a la replicabilidad del mismo en diferentes lugares o espacio temporal con el propósito de controlar el crecimiento urbano, priorizando el desarrollo sustentable. Atendiendo a estas consideraciones, se debe tener en cuenta que el ordenamiento del territorio debe tener en consideración a todos los actores sociales, incentivando su participación activa en pos del desarrollo sustentable local.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Barral, María Paula (2016). *Tutorial para el mapeo de funciones ecosistémicas y servicios ecosistémicos*. ECOSER. Módulo 1, Versión 2.1. Unidad Integrada Balcarce, Argentina.

Berón, N., Padilla, C., & Rapali, N. (2013). Nuevo marco normativo de ordenamiento territorial en Mendoza: su aplicación en el área metropolitana. *Bitácora Urbano Territorial*, 22(1).

Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), 43-69.

Campos C, A., Hernández, M. E., Moreno-Casasola, P., Cejudo Espinosa, E., Robledo R, A., & Infante Mata, D. (2011). Soil water retention and carbon pools in tropical forested wetlands and marshes of the Gulf of Mexico. *Hydrological Sciences Journal*, 56(8), 1388-1406.

Cara, L. y Olmedo, F. (2019). Laboratorio de Geomática y Agricultura de Precisión. INTA EEA MENDOZA.

Chen, Y., Wang, B., Pollino, C. A., Cuddy, S. M., Merrin, L. E., & Huang, C. (2014). Estimate of flood inundation and retention on wetlands using remote sensing and GIS. *Ecohydrology*, 7(5), 1412-1420.

Chuai, X., Huang, X., Wang, W., Wu, C., & Zhao, R. (2014). Spatial simulation of land use based on terrestrial ecosystem carbon storage in coastal Jiangsu, China. *Scientific reports*, 4(1), 1-8.

Convención de Ramsar (1971). Convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas. Ramsar, 2, 1971. [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current\\_convention\\_s.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_s.pdf) [Consulta: 15 Noviembre de 2019]

Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farberk, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K, Naeem, S., O'Neill, R., Paruelo, J., Raskin, R. G., Suttonk, P. & Van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253.

Cram, S., Cotler, H., Morales, L. M., Sommer, I., & Carmona, E. (2008). Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones geográficas*, (66), 81-104.

De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41(3), 393-408.

De Groot, R., Stuij, M., Finlayson, M., & Davidson, N. (2007). Valoración de humedales: lineamientos para valorar los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas de humedales. *Informe Técnico de Ramsar núm. 3 Núm. 27 de la serie de publicaciones técnicas del CDB*.

Dong, Z., Wang, Z., Liu, D., Song, K., Li, L., Jia, M., & Ding, Z. (2014). Mapping wetland areas using Landsat-derived NDVI and LSWI: A case study of West Songnen plain, Northeast China. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 42(3), 569-576.

Eyherabide, M., Sainz Rozas, H. R., Barbieri, P. A., & Echeverría, H. E. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelos. *Ciencia del Suelo*. Asociación Argentina de Ciencias del Suelo. Argentina. 32(1), 13-19.

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

Geroy, I. J., Gribb, M. M., Marshall, H. P., Chandler, D. G., Benner, S. G., & McNamara, J. P. (2011). Aspect influences on soil water retention and storage. *Hydrological Processes*, 25(25), 3836-3842.

Guo, Z., & Gan, Y. (2002). Ecosystem function for water retention and forest ecosystem conservation in a watershed of the Yangtze River. *Biodiversity & Conservation*, 11(4), 599-614.

Instituto Geográfico Nacional (IGN), (2016). Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina. Dirección de Geodesia. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: [https://www.ign.gob.ar/archivos/Informe\\_MDE-Ar\\_30m.pdf](https://www.ign.gob.ar/archivos/Informe_MDE-Ar_30m.pdf) [Consulta: 23 de Diciembre, 2019]

Kreuter, U. P., Harris, H. G., Matlock, M. D., & Lacey, R. E. (2001). Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas. *Ecological Economics*, 39(3), 333-346.

Kumar, P., Esen, S. E., & Yashiro, M. (2013). Linking ecosystem services to strategic environmental assessment in development policies. *Environmental Impact Assessment Review*, 40, 75-81.

Laterra, P., Barral, P., Carmona, A. & Nahuelhual, L. (2015). *ECOSER: protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial*. Ediciones INTA, Argentina. <http://eco-ser.com.ar/>

Laterra, P.; Jobbágy, E. y Paruelo, J. (2011). Valoración de Servicios Ecosistémicos: Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. 1° Edición. Editorial INTA. Buenos Aires, Argentina. 740p [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_\\_valoracion\\_de\\_servicios\\_ecosistemicos.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta__valoracion_de_servicios_ecosistemicos.pdf)

Legislatura de Mendoza (2020). Plan de Ordenamiento Territorial. Disponible en <https://www.legislaturamendoza.gov.ar/plan-de-ordenamiento-territorial/> [Consulta: 20 Noviembre de 2019]

Ley N° 8.999 (2017). Plan Provincial de Ordenamiento Territorial (PPOT). Mendoza, Argentina; 31 de Agosto. Disponible en [https://www.legislaturamendoza.gov.ar/wp-content/uploads/2017/12/4\\_8999\\_plan\\_ordenamiento\\_territorial.pdf](https://www.legislaturamendoza.gov.ar/wp-content/uploads/2017/12/4_8999_plan_ordenamiento_territorial.pdf) [Consulta: 20 de Octubre de 2019]

Ley N° 8051, (2009). Ley de Ordenamiento Territorial y Usos del suelo. Mendoza, Argentina. 18 de mayo. Disponible en [www.mendoza.gov.ar](http://www.mendoza.gov.ar) [Consulta: 19 de Septiembre de 2019]

Li, P., Jiang, L., & Feng, Z. (2014). Cross-comparison of vegetation indices derived from Landsat-7 enhanced thematic mapper plus (ETM+) and Landsat-8 operational land imager (OLI) sensors. *Remote Sensing*, 6(1), 310-329.

Lu, N., Wang, M., Ning, B., Yu, D., & Fu, B. (2018). Research advances in ecosystem services in drylands under global environmental changes. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 33, 92-98.

Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96.

Marulanda, J., & Villa, J. A. (2015). Densidad aparente y concentración de materia orgánica en el suelo de un humedal de alta montaña. *Journal of Engineering and Technology*, 4(1).

Médico, C. M. (2016). La vegetación como posibilidad de integración espacial, ambiental y social en los paisajes de interfase urbano-rural de la provincia de Mendoza. *Revista de las Facultades de Arquitectura e Ingeniería*, (1). <http://www.um.edu.ar/ojs-new/index.php/FAI/article/view/794>

Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.

- Papastergiadou, E. S., Retalis, A., Apostolakis, A., & Georgiadis, T. (2008). Environmental monitoring of spatio-temporal changes using remote sensing and GIS in a Mediterranean wetland of Northern Greece. *Water Resources Management*, 22(5), 579-594.
- Peng, J., Yang, Y., Liu, Y., Du, Y., Meersmans, J., & Qiu, S. (2018). Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological security patterns. *Science of the total environment*, 644, 781-790.
- Prieto, M. D. R., Abraham, E., & Dussel, P. (2008). Transformaciones de un ecosistema palustre. La gran ciénaga del Bermejo-Mendoza, siglos XVIII y XIX. *Multequina*, (17), 147-164.
- Prieto, M. D. R., y Rojas, F. (2012). Documentary evidence for changing climatic and anthropogenic influences on the Bermejo Wetland in Mendoza, Argentina, during the 16th–20th century. *Climate of the Past*, 8(3), 951-961.
- Rao, Y., Zhou, M., Ou, G., Dai, D., Zhang, L., Zhang, Z., Nie, X. & Yang, C. (2018). Integrating ecosystem services value for sustainable land-use management in semi-arid region. *Journal of Cleaner Production*, 186, 662-672.
- Rawls, W. J., Pachepsky, Y. A., Ritchie, J. C., Sobecki, T. M., & Bloodworth, H. (2003). Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116(1-2), 61-76.
- Romanella, C. A. (1957). Los suelos de la región del río Mendoza. *Boletín de estudios geográficos*, (14).
- Safaei, M., Bashari, H., Mosaddeghi, M. R., & Jafari, R. (2019). Assessing the impacts of land use and land cover changes on soil functions using landscape function analysis and soil quality indicators in semi-arid natural ecosystems. *Catena*, 177, 260-271.
- Secretaría de la Convención de Ramsar (2013). Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), 6a. edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). Disponible en <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/manual6-2013-sp.pdf> [Consulta: 15 Noviembre de 2019]
- Segura, J. A. & Sánchez, M. A. (2003). Propuesta: Estrategias de desarrollo endógeno frente al fenómeno de la territorialización. V Seminario Nacional de la Red de Centros Académicos para el Estudio de Gobiernos Locales. Mendoza, Argentina.
- Sombroek, W. G., Nachtergaele, F. O., & Hebel, A. (1993). Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio. Stockholm*, 22(7), 417-426.
- Song, W., Deng, X., Yuan, Y., Wang, Z., & Li, Z. (2015). Impacts of land-use change on valued ecosystem service in rapidly urbanized North China Plain. *Ecological Modelling*, 318, 245-253.
- Van den Bosch., M. E., & Ruggeri, M. A. (2014). *Cinturón verde de Mendoza. Análisis de la dinámica intercensal de las explotaciones agropecuarias*. Congreso Regional de Economía Agraria. 4. Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria. Congreso de Economistas Agrarios de Chile. 19. 2014 10 21-23, 21-23 de octubre 2014. Buenos Aires. AR.
- Zubair, O., Ji, W., & Weilert, T. (2017). Modeling the impact of urban landscape change on urban wetlands using similarity weighted instance-based machine learning and Markov model. *Sustainability*, 9(12), 2223.