

## **TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN PARA IDENTIFICAR SUELOS DECAPITADOS (LA PLATA, BUENOS AIRES)**

Steigmeier Daniela; Ontivero Pablo; Kristensen María Julia; Boff Laura  
Instituto de Geomorfología y Suelos, Facultad de Ciencias Naturales y Museo,  
Universidad Nacional de La Plata.  
[danielaestm@gmail.com](mailto:danielaestm@gmail.com)

### RESUMEN

El reconocimiento de suelos decapitados a partir de indicadores de condición facilitaría las decisiones de manejo y la ordenación ambiental del periurbano de La Plata (Buenos Aires). Se han hecho intentos de identificar indicadores a partir de la vegetación o de las características superficiales del suelo, pero la heterogeneidad ambiental (natural y de usos de suelo) aporta una complejidad difícil de interpretar de manera sencilla. El objetivo del trabajo fue calibrar el uso de índices NDVI como indicadores de decapitación. Se estableció la historia de usos (agricultura, degradado, arbustificado, natural) de 19 sitios del periurbano de La Plata por aerofotointerpretación (estereoscopio de espejos Wild ST4) utilizando los vuelos disponibles para el área desde 1956 en adelante. Se realizó un análisis temporal de un año a 13 imágenes satelitales (plataforma Sentinel 2) para determinar los índices NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) mensuales de las parcelas que alojan los puntos de muestreo. La marcha anual del comportamiento del índice para cada sitio, se analizó a partir de sus valores promedio anual, diferencia entre máximos y mínimos (dif NDVI), máximo y mínimo anual absoluto y meses en que estos últimos se registraron. Se realizó un análisis de componentes principales para relacionar esta información con la historia de uso de cada sitio. La dif NDVI separó con los valores más altos y los menores NDVI mínimos los sitios bajo uso agrícola y que fueron desmalezados. El promedio anual y el máximo separaron los sitios decapitados recientes y degradados del resto. Estas variables permitirían discriminar coberturas que indicarían degradación, aportando y complementando información para la construcción de índices.

**PALABRAS CLAVE:** Imágenes satelitales, aerofotointerpretación, indicadores de condición, NDVI, tiempo de decapitación.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la zona de la ciudad de La Plata, capital de la provincia de Buenos Aires (Argentina), la diversidad de tipos de suelo se combina con una compleja matriz de usos. Esta situación se da sobre suelos altamente productivos, Argiudoles típicos y vérticos, según el sistema Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 1999). Desde la fundación de la ciudad en 1882 algunas porciones del área han sufrido decapitación, esto es la extracción de los horizontes superficiales del suelo, relacionadas en gran parte con la fabricación de ladrillos y a la alta demanda que hubo de ellos para la construcción de grandes edificios públicos en el momento de su fundación y el posterior crecimiento urbano (Cabral *et al.*, 1997). Estas actividades han afectado especialmente a suelos con capacidad de uso I-III, según el sistema de clasificación de usos del Servicio de Conservación de Suelos de E.E.U.U. (Klingebiel y Montgomery, 1961), aptos para la agricultura intensiva y extensiva, e implican la pérdida del “capital natural” en las áreas/cuencas de producción de alimentos para los centros urbanos próximos (Ontivero *et al.*, 2017).

A consecuencia de la decapitación, el nuevo horizonte superficial es un Bt que presenta una disminución en el contenido de materia orgánica y nutrientes y una elevada cantidad de arcilla (Ferrari *et al.*, 2010). Esto último se traduce en una menor fertilidad química, menor infiltración de agua, una estructura desfavorable para el contacto suelo-raíz, mayor dificultad para las labranzas, y menor disponibilidad de agua útil, lo que significa mayor posibilidad de estrés hídrico para las plantas (Hurtado *et al.*, 2008; Fernandez *et al.*, 2005; Lanfranco *et al.*, 2011; Hurtado *et al.*, 2015). Consecuentemente, puede disminuir la cobertura vegetal e implicar un cambio en la composición específica de la vegetación.

El reconocimiento de suelos decapitados a partir de indicadores facilitaría las decisiones de manejo y la ordenación ambiental del periurbano de La Plata (Buenos Aires) (Hurtado, 1987). Esto permitiría detectar y monitorear deterioros recientes de suelos productivos para plantear estrategias de remediación, y establecer modalidades de construcción adecuadas a suelos decapitados. Se han hecho intentos de identificar indicadores a partir de la vegetación (composición y fisonomía) o de las características superficiales del suelo, pero la heterogeneidad ambiental (natural y de usos de suelo) aporta una complejidad difícil de interpretar. También se ha incursionado en indicadores edáficos que no han dado resultados categóricos, por lo que en esta ocasión recurrimos

al análisis espectral (Kristensen *et al.*, 2015; Kristensen *et al.*, 2016; Steigmeier *et al.*, 2018).

Los índices generados en base al comportamiento espectral de imágenes satelitales se construyen a partir de cálculos matemáticos estandarizados que permiten analizar, en base a las relaciones entre las bandas de una imagen, la variabilidad de sus componentes y relacionarlos en muchos casos con variables ambientales. Con esta operación es posible diferenciar entre suelos y vegetación, y reducir el efecto del relieve en la caracterización espectral de distintas cubiertas.

El empleo de cocientes para discriminar masas vegetales se deriva del comportamiento radiométrico de estas cubiertas (Chuvieco, 2000). La firma espectral característica de la vegetación vigorosa muestra un claro contraste de reflectividad entre las bandas visibles (especialmente la banda perteneciente al rojo) y las comprendidas en el infrarrojo cercano, siendo baja en el primer caso, y alta en el segundo. El contraste a medida que la vegetación se enferma o su fenología cambia a lo largo del año, y sobre todo con los suelos, es bastante evidente entre estas dos bandas.

Cuando los suelos son poco cromáticos, como es el caso de los de la zona analizada, ofrecen menor variación espectral a distintas longitudes de onda. Por lo tanto, cuanto mayor sea el contraste entre los Niveles Digitales de la banda infrarroja y roja, mayor vigor vegetal presentará la cubierta vegetal observada (alto valor de los índices). Bajos valores de contraste indican una vegetación enferma o senescente, hasta llegar a las cubiertas sin vegetación, que ofrecen un contraste muy pequeño (bajo valor de los índices). En este principio se apoya la mayor parte de los denominados “índices de vegetación”, en los que se combina la banda roja y la del infrarrojo cercano del espectro.

La idea de desarrollar un análisis del comportamiento anual del índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) surge a partir de suponer que el carácter más relevante que se destacaría en la situación que presentan los suelos decapitados de la región es una variación anual escasa o nula de la cobertura y/o de la productividad vegetal. Esto se produce debido a que al carecer del horizonte A, productivo, el suelo no es trabajado con fines agrícolas/agropecuarias, y el crecimiento de la vegetación espontánea, probablemente con escasa biodiversificación, estaría restringido o modificado respecto de la condición original del suelo. El horizonte subsuperficial Bt, rico en arcillas, aflora y resulta en una condición restrictiva para la vegetación. Por ello

se considera apropiado el uso de índices de vegetación, los cuales combinan la banda roja y la del infrarrojo cercano del espectro (Ontivero *et al.*, 2017).

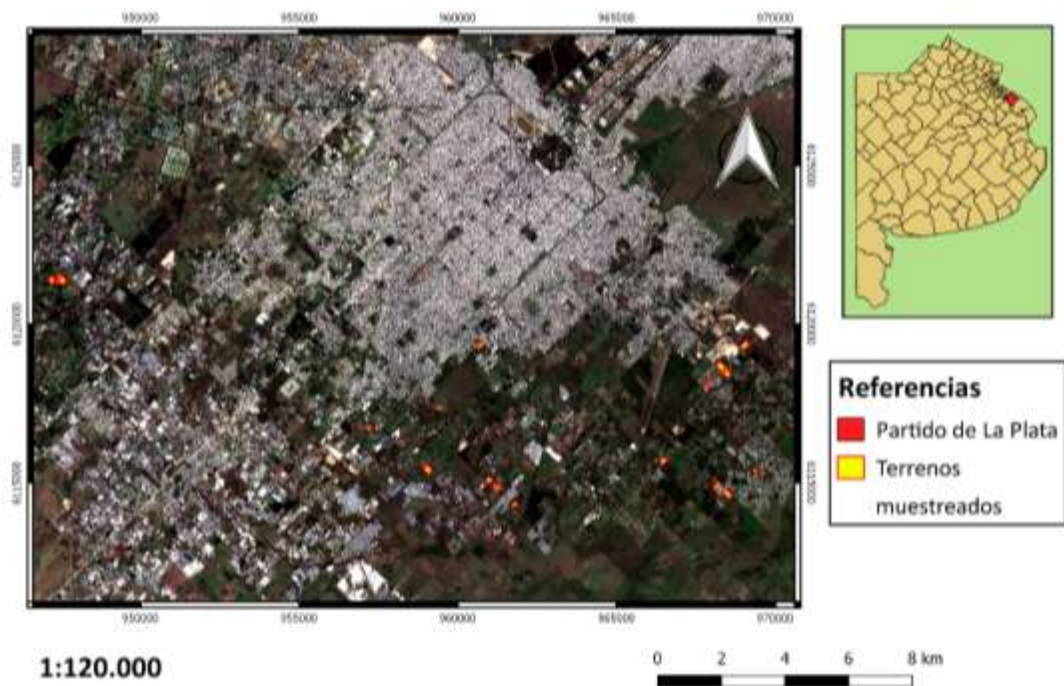
El motivo por el que se optó hacer uso del índice NDVI por sobre otros índices de vegetación prima de la diversidad de trabajos científico-técnicos, y la divulgación que dicho índice posee a nivel mundial, siendo elevada la variedad de objetos estudiados dependientes de la cobertura vegetal identificados y cuantificados a partir de su valor NDVI. A su vez, resulta una herramienta de aplicación sencilla, que presenta un mayor rango dinámico en comparación con otros índices verde, lo que le confiere una mayor sensibilidad a los cambios en la cubierta vegetal. Si bien también muestra sensibilidad a los cambios topográficos y a la dispersión atmosférica, trabajar en una zona de llanura (cota máxima de 35 msnm), en conjunto con las correcciones atmosféricas correspondientes (dispersiones Rayleigh y Mie), hace que esta opción resulte la más adecuada para hacer un análisis cualitativo y cuantitativo de la cobertura vegetal, y su variación temporal.

El objetivo del trabajo fue calibrar el uso de índices NDVI como indicadores de decapitación. Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos: (1) constatar la condición de decapitación de cada sitio y el tiempo pasado desde ese momento; (2) inferir la historia de los usos a los que han sido sometidos los sitios, (3) establecer en campo la fisonomía de la vegetación y (4) analizar el NDVI de los sitios mediante el índice NDVI y relacionarlo con la condición y tiempo de decapitación, la historia de usos y la fisonomía de la vegetación espontánea para evaluar la variable que pueda resultar como el mejor indicador de la condición de decapitación.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

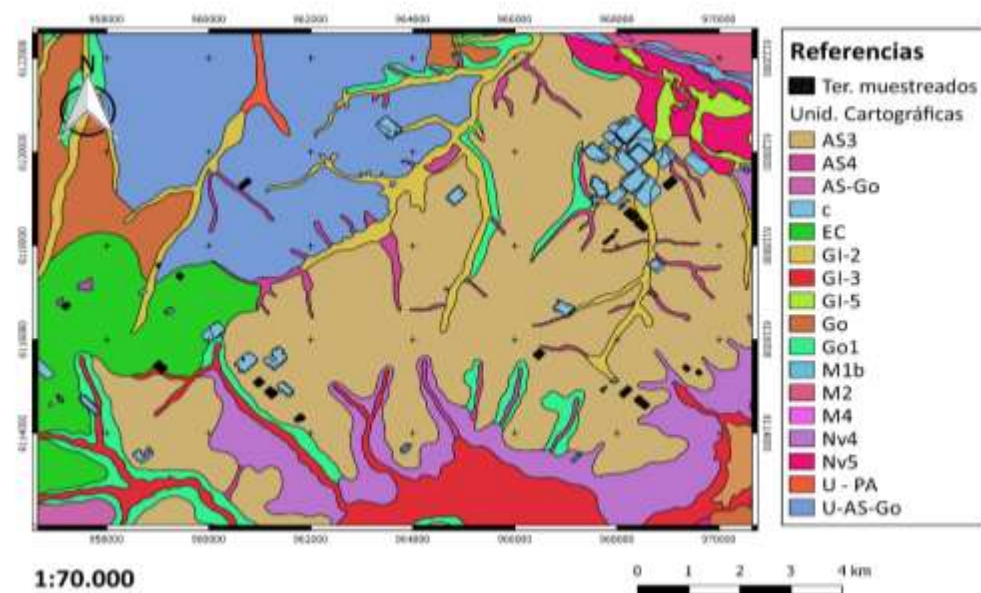
El estudio se realizó en el Partido de La Plata, en el sector sur de la ciudad capital. El área de estudio contiene 187 km<sup>2</sup>, sobre la cual se seleccionaron los sitios a estudiar utilizando en primer término las coberturas de base y la de “suelos decapitados” correspondientes a un Sistema de Información Geográfico realizado por el Instituto de Geomorfología y suelos (Hurtado *et al.*, 2006). Se establecieron 19 sitios de muestreo (Figura 1).

Figura 1. Partido de La Plata y los terrenos muestreados en el estudio.



Los sitios corresponden a tres unidades cartográficas, AS3 (Arturo Seguí), EC (Estancia Chica) y As-Go (Complejo Arturo Seguí-Gorina), que corresponde a la zona urbana de la ciudad. No obstante, las características taxonómicas de los suelos se corresponden con las de AS3 (Figura 2).

Figura 2. Mapa de unidades cartográficas de la zona muestreada.



<b>Unidades Cartográficas</b>	<b>Unidades Taxonómicas</b>
<b>AS3</b>	Complejo Series Arturo Seguí (60%) y Gorina (40%).
<b>AS4</b>	Complejo de fases imperfectamente drenadas de: Series Arturo Seguí (60%) y Gorina (40%).
<b>AS-Go</b>	Complejo de Series Arturo Seguí y Gorina (70%), Albacualfes vérticos (20%) y Serie Esquina Negra (10%).
<b>c</b>	Cantera o Cava.
<b>EC</b>	Asociación de Series Estancia Chica (80%) y Los Hornos (20%).
<b>GI-2</b>	Grupo indiferenciado de suelos de planicies aluviales de los arroyos Pérez, Regimiento, Maldonado y Garibaldi.
<b>GI-3</b>	Grupo indiferenciado de suelos de planicies aluviales del arroyo El Pescado y afluentes.
<b>GI-5</b>	Grupo indiferenciado de suelos de planicies aluviales en el Área de Origen Mixto y Estuárico-Marino.
<b>Go</b>	Consociación Serie Gorina.
<b>Go1</b>	Complejo de fases inclinadas de las unidades cartográficas Go y AS-Go.
<b>M1b</b>	Complejo de natracuertes típicos, fase imperfectamente drenada / Epiacuertes sódicos.
<b>M2</b>	Consociación de Natracuertes típicos, fase pobremente drenada.
<b>M4</b>	Consociación de Haprendoles típicos.
<b>Nv4</b>	Complejo de Natracualfes vérticos (60%) y Argiudoles acuérticos (40%).
<b>Nv5</b>	Complejo de Natracualfes vérticos (80%) y Natracuoles, Argiacuoles y Argialboles (20%). Incluye Tierra Urbana.
<b>U-PA</b>	Complejo de Tierra Urbana y planicies aluviales.
<b>U-AS-Go</b>	Complejo de Tierra Urbana y Series Gorina-Seguí.

*Tabla 1. Detalle de las unidades taxonómicas.*

Los objetivos específicos 1 y 2 se cumplieron mediante fotointerpretación. Se utilizaron fotografías aéreas correspondientes a los vuelos disponibles para el área que permitieron analizar un período de 45 años, a saber: del Instituto Geográfico Militar (IGM, 1956, 1958), del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, (INTA, 1966), del Ministerio de Obras Públicas de la provincia de Buenos Aires (MOP, 1965-66, 1992, 1996 y 2001) y de las Fuerza Aérea Argentina (FAA, 1984-85 y 1991). Las mismas fueron observadas bajo estereoscopio de espejos Wild ST4. También se utilizaron los mapas de uso de la tierra y capacidad de uso del suelo del Partido de La Plata para los años 1956 y 1971, realizados por el Ministerio de Asuntos Agrarios de la provincia de Buenos Aires. Para evaluar los últimos 20 años se debieron complementar los datos obtenidos con los mosaicos de la plataforma Google Earth. A partir del análisis de las fotografías aéreas se determinó la historia de uso de los sitios y la antigüedad de la decapitación. Para estimar esta última se consideró como el momento

de decapitación la fecha en que se constató para cada sitio, la presencia de cavas o evidencias de remoción de suelo. Se analizó la historia de uso y se determinaron las categorías para representarlas. Se asignó a cada sitio la categoría correspondiente al uso dominante a lo largo de todo el período analizado. Los usos del suelo y la condición de decapitación fueron especificados para cada sitio en particular a partir de aerofotointerpretación, ya que en el momento de los muestreos se utilizaron sitios con vegetación espontánea, es decir, en desuso en el momento del muestreo.

El objetivo específico 3 se cumplió mediante el trabajo de campo en que se constató la fisonomía de la vegetación espontánea en 2016-2017.

*Figura 3. Muestreos en campo*



Para analizar la respuesta espectral de los sitios mediante el índice NDVI (objetivo específico 4) se realizó el análisis temporal de un año a 13 imágenes satelitales (plataforma Sentinel 2) para determinar los índices NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) mensuales de las parcelas que alojan los puntos de muestreo. El satélite Sentinel 2 pertenece a la Agencia Espacial Europea (ESA), y posee un total de 13 bandas espectrales distintas que cubren una superficie de 290 km de ancho con una resolución espacial de 10 a 20 m y resolución temporal de 5 días (Copernicus, 2017). Las bandas cubren el azul (490 nm), verde (560 nm), rojo (665 nm) e infrarrojo cercano (842 nm), además de cuatro bandas para observar la vegetación (705, 740, 783 y 865 nm), dos en infrarrojo medio (1610 nm y 2190 nm) y tres centradas en 443 nm (aerosoles), 945 nm (vapor de agua) y 1375 nm (cirros), estas últimas destinadas a detectar nubes y aerosoles para corregir las imágenes y evitar sesgos atmosféricos. Se

descargaron 13 imágenes de la plataforma Sentinel 2A que incluyeron los sitios relevados en el área de estudio. Se seleccionaron imágenes con bajo o nulo porcentaje de nubosidad correspondientes al año en el que se realizaron los muestreos de campo de la vegetación. Las fechas analizadas fueron: 11 de enero, 20 de febrero, 12 de marzo, 14 de abril, 1 de mayo, 20 de junio, 18 de julio, 2 de agosto, 18 de septiembre, 31 de octubre, 30 de noviembre y 25 de diciembre de 2017 y 29 de enero de 2018.

En la etapa de preprocesamiento de los productos Sentinel, se trabajó con el software de información geográfica QGIS versión 2.14 (QGIS Development Team, 2016). Cada una de las imágenes fue recortada en la zona de estudio para un manejo más práctico de la misma. Posteriormente se realizó el apilado de bandas para cada una de las imágenes, obteniendo así un producto de cada fecha, integrada por las 13 bandas correspondientes. Luego la imagen fue georreferenciada al sistema de referencia Posgar 98 / Argentina 6, y por último, se procedió a corregir atmosféricamente cada una de las imágenes, para eliminar la dispersión que se produce al reflejarse o refractarse la radiación en las partículas de la atmósfera (gases). Ambos tipos de dispersiones, Rayleigh y Mie, actúan sobre las longitudes de onda corta y larga respectivamente, generándose una lectura errónea en los sensores. Con esta corrección se convierten las mediciones del sensor a la altura de la plataforma en mediciones equivalentes a las del nivel suelo, compensando esos efectos de dispersión y absorción producidos por la atmósfera (Chuvieco, 2002).

Debido a que el problema de relieve no lo tenemos en la zona de estudio, puesto que la pendiente es de aproximadamente 1%, nos importa poder generar la separación entre suelos y vegetación debido a la naturaleza intrínseca que presentan los suelos decapitados con respecto a la vegetación que albergan. Se utilizó el índice de vegetación denominado NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Las imágenes de índice resultantes se establecieron a partir de la siguiente fórmula:

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

donde, NIR es la reflectividad en el sector Infrarrojo cercano y RED la reflectividad en el sector rojo.

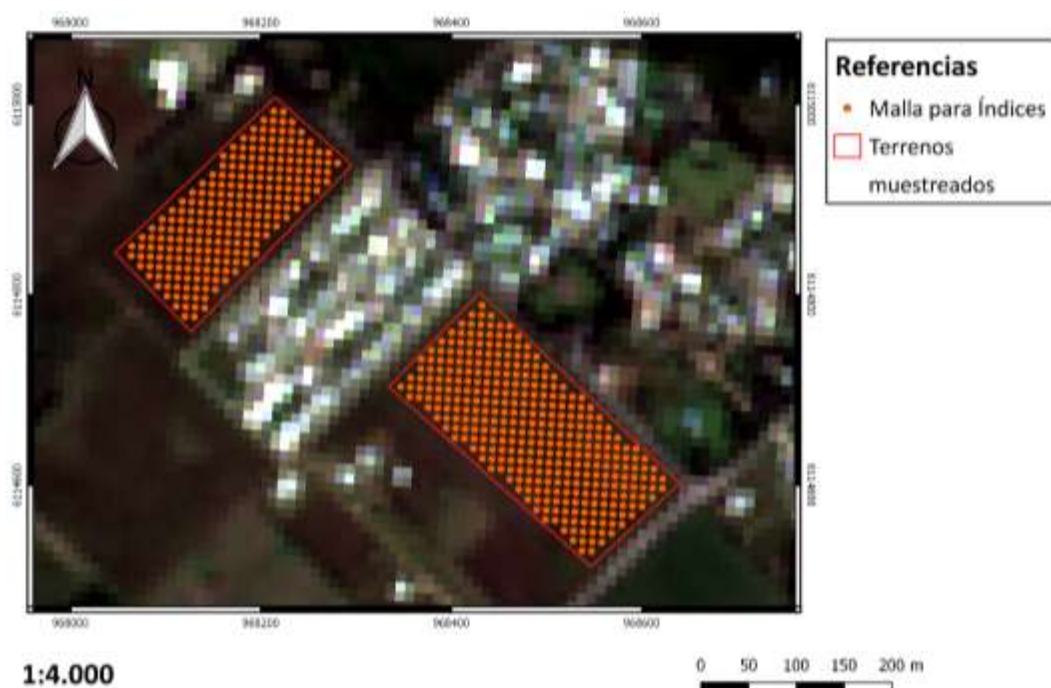
Se generó una imagen con los valores NDVI de pixel para cada una de las 13 imágenes del período anual, descargadas y pre procesadas. Estas nuevas imágenes están compuestas por un valor NDVI por pixel, lo que permitió realizar un censo de los valores de índice de los terrenos muestreados. El tamaño del muestreo (número de



píxeles considerados en el análisis) en cada sitio estuvo supeditado por las características del mismo, se eliminaron píxeles correspondientes a coberturas ajenas al objeto de estudio (casas, construcciones, arbolados, cultivos, etc.). El tamaño varió entre sitios debido a la naturaleza urbana de los muestreos que no permitió tener superficies homogéneas de igual tamaño. Se generó una malla de muestreo aleatorio en cada uno de los terrenos elegidos para el estudio (Figura 4). La elección de la densidad de puntos a muestrear por terreno se determinó a partir de la escala de trabajo, del área de los terrenos censados y del tamaño de pixel de las imágenes. Se optó por generar una malla con una densidad de un muestreo cada 10 m, que corresponde a la unidad de pixel de las imágenes Sentil 2 y permite trabajar con la máxima cantidad de píxeles, especialmente importante para los sitios de dimensiones reducidas.

Cabe destacar que una vez generada la malla de puntos, se revisó cada uno de los sitios para corroborar que los puntos en los que se iba a tomar el valor NDVI, no caigan sobre otro tipo de cobertura, como puede ser una construcción, un cuerpo de agua, un camino rural, una ruta, eliminándose aquellos puntos en los que se cumplía alguna de estas situaciones. En consecuencia el número de píxeles analizados en cada sitio fue diferente y condicionado por estas restricciones.

*Figura 4. Ejemplo de malla de puntos para determinación de NDVI.*



A partir de herramientas del software QGis 2.14, se obtuvieron los valores de índice NDVI de las 13 imágenes mensuales en cuestión para cada uno de los 19 puntos de muestreo de los terrenos incluidos en el estudio.

Con los datos obtenidos se establecieron los promedios de los valores mensuales de NDVI para cada sitio por separado, con el propósito de obtener un valor de NDVI representativo de cada mes para cada sitio. A partir de estos nuevos valores promediados, se analizaron para cada sitio: (1) la marcha anual, (2) los valores máximos y mínimos absolutos anuales, (3) se calcularon las diferencias entre valores máximos y mínimos y (4) se consignaron los meses en los que estos últimos se registraron.

El conjunto de datos obtenidos se volcaron en el programa Canoco (Šmilauer y Lepš, 2014) y se les realizó un análisis de componentes principales (ACP) para relacionar las variables generadas para el NDVI con la condición y tiempo de decapitación, la historia de usos y la fisonomía de la vegetación espontánea y evaluar cuál de estas variables pueda resultar mejor como indicadora de la condición de decapitación.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las fotografías aéreas de los 19 sitios analizados (Tabla 1) permitió establecer que 9 de ellos resultaron sobre terrenos decapitados (D) en algún momento del período de tiempo analizado, mientras que los 10 restantes correspondieron a terrenos no decapitados (ND). Se pudieron reconocer 3 tiempos de decapitación: con más de 60 años ( $D_{60}$ ), con 25 años ( $D_{25}$ ) y con 5 o menos años de decapitación ( $D_5$ ). Por otro lado, se determinaron las siguientes categorías de uso: agrícola, degradado, arbustificado y natural, correspondiendo estas últimas a terrenos vacantes o sin uso.

Se consideraron dentro de la categoría “agrícola” aquellos sitios que presentaron en las fotografías y/o imágenes rasgos que evidenciaron este uso tales como marcas de surcos o variación de cobertura de la vegetación entre períodos de alta cobertura alternando con períodos de suelo desnudo, correspondientes al momento de la cosecha. Dentro de la categoría “degradado” se consideraron sitios que mostraron signos de degradación como remoción o movimientos de suelo, entrando dentro de esta categoría aquellos sitios con decapitado reciente ( $D_{25}$  y  $D_5$ ). Los sitios con decapitación antigua que, tras el disturbio fueron abandonados no se agruparon con los degradados y decapitados recientes probablemente debido a que en 60 años hubo recomposición de la vegetación espontánea. Los muestreos de campo permitieron reconocer sitios

densamente arbustificados con alta proporción de exóticas (Arb), vegetación nativa que se presentó en comunidades con cobertura del 100% conformadas por parches de hierbas y arbustos altos (VNa) o con dominancia de hierbas (VNh) y vegetación que muestra signos de degradación (Degr) por presentar parte del suelo desnudo, menor riqueza de especies y presencia de hierbas exóticas (Tabla 2). En Arb la altura de la vegetación fue de 1-1,5 m y aparecen *Dipsacus fullonum* L. y *Acanthostyles buniifolius* (Hook. & Arn.) R.M. King & H. Rob.; en VNa los arbustos están representados por *A. buniifolius* y varias especies de *Baccharis spp.* (e.g. *B. spicata*, *B. notoserigila*, *B. trimera*, *B. articulata*).

Tabla 2. Características de los sitios de muestreo relevadas a partir de las fotografías aéreas y en campo.

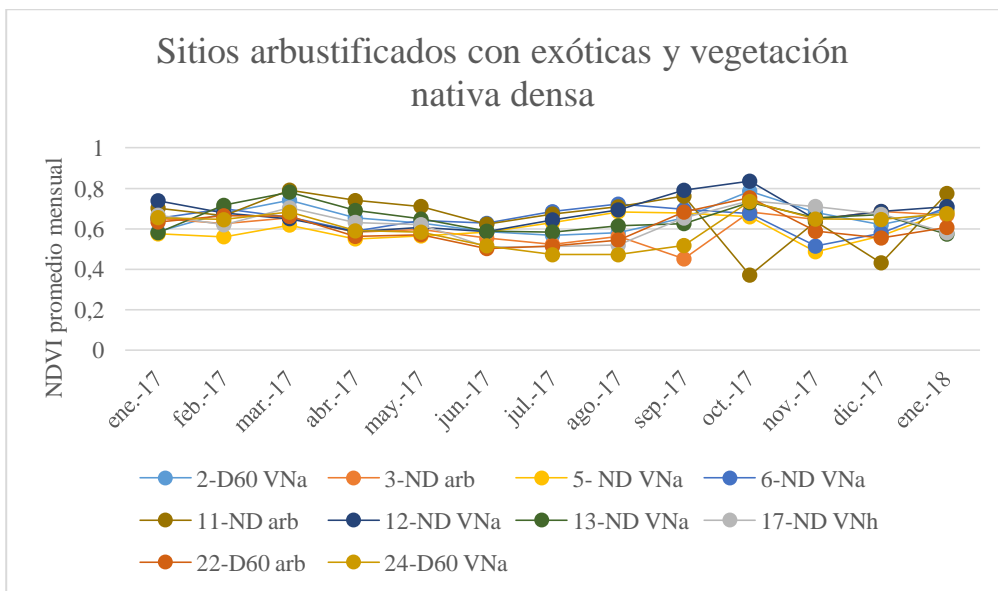
Sitios	Condición	Antigüedad de decapitación en años	Uso	Nombre abreviado	n (n° de píxeles de la muestra)
2	D	60	VNa	2-D60 VNa	45
3	ND	-	Degr	3-ND arb	119
4	ND	-	Degr	4-ND degr	384
5	ND	-	VNa	5- ND VNa	83
6	ND	-	Degr	6-ND VNa	141
8	D	60	Degr	8-D60 degr	343
9	D	60	Degr	9-D60 degr	445
10	D	60	Degr	10-D60 degr	372
11	ND	-	Arb	11-ND arb	117
12	ND	-	VNa	12-ND VNa	254
13	ND	-	VNa	13-ND VNa	247
15	ND	25	Degr	15-D25 degr	204
17	ND	-	VNh	17-ND VNh	275
18	D	5	Degr	18-D5 degr	268
19	ND	-	Agr	19-ND agr	372
21	ND	-	Agr	21-ND agr	107
22	D	60	Arb	22-D60 arb	229
23	D	5	Degr	23-D5 degr	188
24	D	60	VNa	24-D60 VNa	200

La marcha anual del comportamiento del índice NDVI promedio para cada sitio, permitió agrupar los sitios en función de su comportamiento similar en la marcha mensual a lo largo del año y en la magnitud de los valores medios mensuales del índice de NDVI. Tal como lo muestra la figura 5, se pueden agrupar según sus categorías en

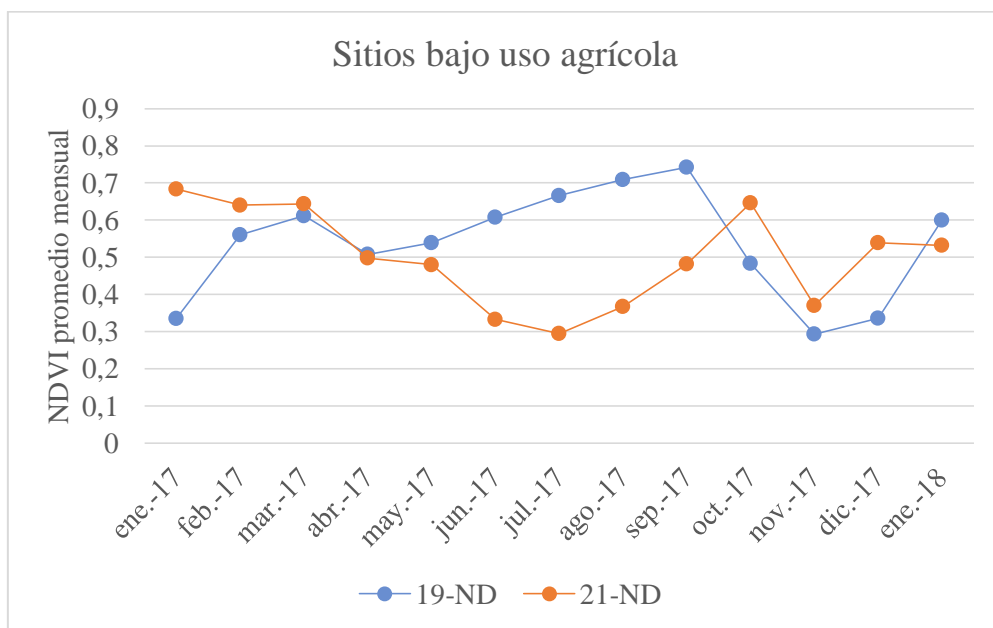
sitios vacantes con vegetación densa arbustiva exótica o nativa, sitios con uso agrícola, sitios degradados y/o decapitados recientes y decapitados antiguos. Lo mismo sucedió al comparar la antigüedad de la decapitación.

Figura 5. Marcha anual de los NDVI durante 2017. Sitios agrupados según historia de uso y tiempo de decapitación. a) Sitios con uso vacante y vegetación espontánea (VNa, VNh y Arb), b) Sitios bajo uso agrícola, c) Sitios degradados, d) Sitios decapitados recientes y decapitado antiguo con alto nivel de degradación, e) Sitios con decapitación antigua.

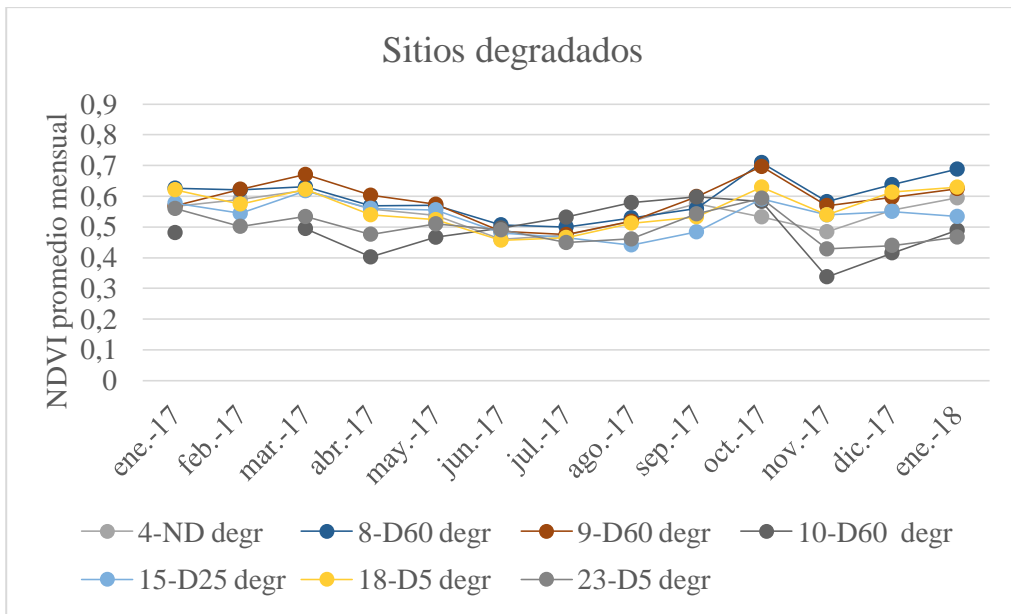
a)



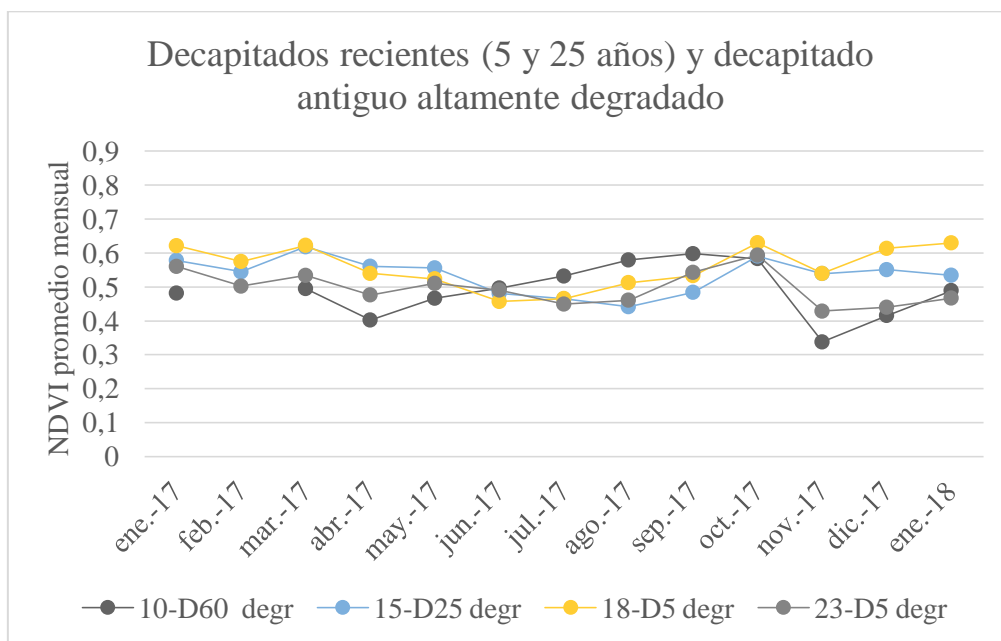
b)



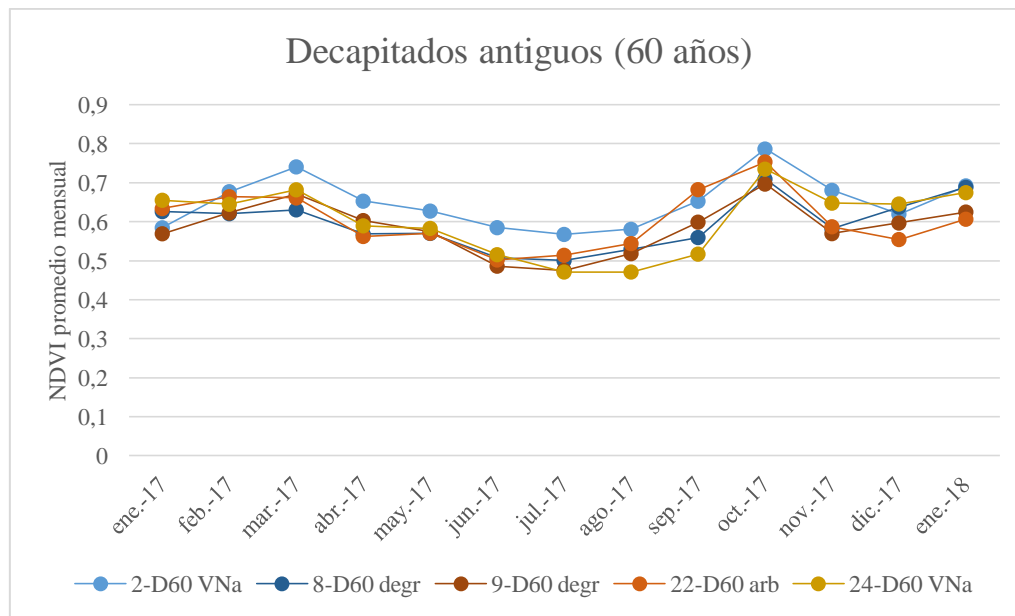
c)



d)



e)



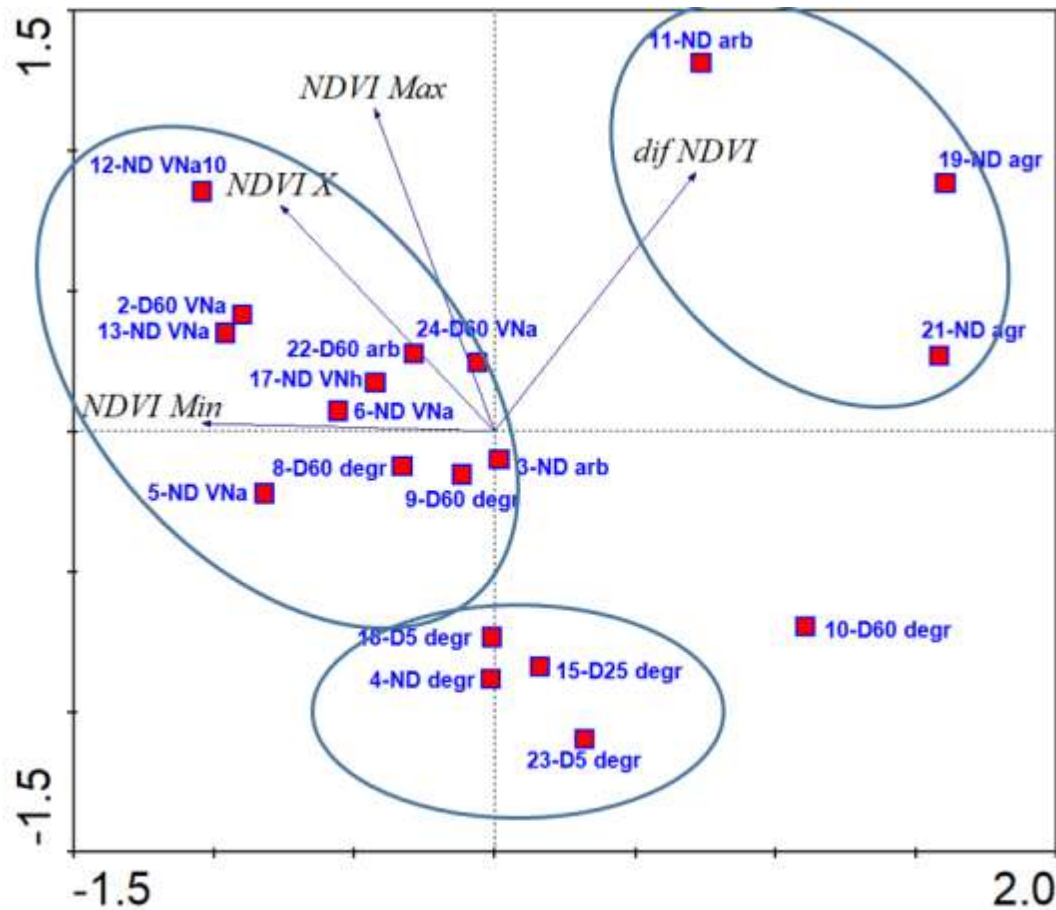
Los NDVI promedio, fueron relativamente más elevados en los sitios arbustificados, sean estos decapitados o no y menores en los sitios degradados y decapitados recientes, ambos con menos vegetación (Figura 5a y 5e). Los sitios degradados decapitados presentaron en el gráfico una marcha similar a la de los degradados no decapitados pero con valores promedio menores. Las diferencias entre los valores máximos y mínimos absolutos, se registraron en los sitios bajo uso agrícola (Figura 5b), o sitios arbustificados en los que el manejo humano determinó estos bruscos cambios, probablemente por desmalezado. El sitio 10- D60 degr apareció en el gráfico junto a los decapitados recientes (Figura 5d) a pesar de ser un decapitado antiguo, probablemente el nivel de extracción en este sitio fue más profundo, ya que en todas las imágenes hay evidencias de agua aflorando en superficie en el centro de la parcela, aunque estos pixeles se eliminaron del análisis. Además el sitio está rodeado de cavas en actividad, por lo la degradación puede haber ocurrido repetidamente.

El ACP explicó el 98.6. % de la variación existente entre sitios. El Eje componente I ( $\lambda = 0.587.$ ) separó los sitios en función del valor mínimo del NDVI y el Eje componente II ( $\lambda = 0.399.$ ) lo hizo principalmente en función del valor máximo, promedio y diferencias del NDVI (Figura 6). El ordenamiento de los sitios en función al comportamiento anual del índice NDVI analizado a partir de sus valores promedio

anual, diferencia entre máximos y mínimos, máximo y mínimo anual absoluto, permitió reconocer tres grupos de sitios: uno conformado por sitios ND utilizados para actividades agropecuarias o que son desmalezados periódicamente, diferenciados por poseer las variaciones anuales del NDVI mayores y por los valores de NDVI mínimos más bajos (sitios 11-ND Arb, 19-ND Agr, 21-ND Agr). Los sitios bajo uso agrícola cambian mucho a lo largo del año pues en el período de cosecha el suelo queda al descubierto, luego de haber estado cubierto densamente por el cultivo que reporta NDVI bien altos. El sitio 11, según consta en las imágenes satelitales sufrió remoción del suelo en el mes de octubre, haciendo esto descender sus valores mínimos y haciendo que se agrupe con los sitios bajo uso agrícola.

Otro grupo estuvo conformado por los sitios con signos de degradación, ya sea por una decapitación reciente o por el uso intensivo bajo el cual se encuentran sometidos (sitios 18-D5 degr, 4-ND degr, 15-D25 degr, 10-D60 degr, 23-D5 degr) y que se caracterizan por los valores mínimos de NDVI promedios y máximos. El otro grupo lo conforman sitios que tienen una cubierta de vegetación espontánea densa natural o exótica, e incluye a los que tienen más de 60 años de decapitación y a sitios ND, que comparten los NDVI promedio, máximos y mínimos más elevados y menor diferenciación del índice durante el año. Entre estos últimos los sitios arbustificados tuvieron valores medios y extremos más elevados, probablemente porque su mayor biomasa se relacione con una mayor productividad primaria neta, lo que a su vez incide positivamente sobre el NDVI. La arbustificación se presentó tanto en sitios decapitados antiguos, abandonados como en sitios no decapitados.

Figura 6 Resultados de la ordenación de los sitios en función de las variables generadas con el Índice Verde Normalizado promedio (NDVI X), máximo (NDVI Max), mínimo (NDVI Min) y diferencia entre máximo y mínimo (dif NDVI) mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP). Eje I  $\lambda = 0.587$ ; Eje II  $\lambda = 0.399$ . Denominación de los sitios en la Tabla 1.



#### 4. CONCLUSIONES

El análisis preliminar de los datos permitió separar los sitios en función de los usos a los que han sido sometidos. Los sitios bajo usos agrícolas o que han sido desmalezados presentaron las mayores diferencias de los valores máximos y mínimos absolutos, por lo que la variable dif NDVI indicaría signos de modificación antrópica durante el año. Particularmente los sitios decapitados presentaron diferentes comportamientos según la antigüedad de la decapitación. Aquellos sitios con decapitación antigua (60 años) y tras su abandono, desarrollaron una vegetación arbustiva similar a la de algunos sitios no decapitados. Por otro lado, los decapitados recientes, al igual que los que representan



sitios de degradación, presentaron menores valores promedio y máximos del índice NDVI, por lo que estas variables serían indicativas de degradación, incluyendo la decapitación que ha ocurrido a 25 o menos años de antigüedad. De esta manera estas variables, previamente calibradas, podrían facilitar junto a otras analizadas en trabajos complementarios, la generación de un índice.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cabral, M. Hurtado, M. Giménez, J. da Silva, M. Martínez, O. (1997) Cartografía temática e índices de calidad ambiental como base para el ordenamiento territorial. *III Jornadas Científicas de Medio Ambiente*. AUGM.
- Chuvieco, E. (2000). *Fundamentos de teledetección espacial*. Rialp. (pp. 568). Madrid.
- Chuvieco, E. (2002) *Teledetección ambiental: La Observación de la Tierra desde el espacio*. Ed. Ariel. Barcelona.
- Copernicus. (2017). <http://www.copernicus.eu/main/sentinels>.
- FAA (1984-85 y 1991) Fotografías Aéreas. E:1:20000. Fuerza Aérea Argentina.
- Fernández, R. Trillo, N. (2005). La textura del suelo como fuente de heterogeneidad: sus efectos sobre la oferta de agua para las plantas. Ed. Facultad Agronomía, UBA. *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando JC León*. (pp. 171-192). Buenos Aires.
- Ferrari, A. Esparrach, C. Galleti, M. Wall, L. (2010). Forestación de un terreno decapitado con *robinia pseudoacacia* inoculada con *rhizobium spp.* y *glomus deserticola*. Ci. Suelo.
- Hurtado, M. (1987). Problemas ambientales relacionados a suelos y planificación urbana. Consideraciones sobre diferentes tipos de degradación de suelos. *1º Jorn. Reg. Medio Ambiente Natural*. FCNyM, UNLP. La Plata.
- Hurtado, M. Giménez, J. y Cabral, M. (2006) Análisis ambiental del partido de La Plata: aportes al ordenamiento Territorial. Consejo Federal de Inversiones.
- Hurtado, M. Forte, L. da Silva, M. Muntz, D. Cendrero, A. (2015). Degradación de suelos como consecuencia de la actividad minera y la expansión urbana en la provincia de Bs As; implicancias. *El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina*. Ed. Dunken. (pp. 377-411). Provincia de Misiones.
- IGM (1956) Fotografías Aéreas E: 1:25000. Instituto Geográfico Militar, Argentina.
- IGM (1958) Fotografías Aéreas E: 1:35000. Instituto Geográfico Militar, Argentina.

- INTA (1966) Fotografías Aéreas E: 1:20000. Vuelos ejecutados por Spartan Air Service y Aerofotográfica Norte. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Klingebiel, A. Montgomery, P. (1961). Land-capability Classification. Agricultural Handbook 210, Soil Conservation Service, Washington, DC.
- Kristensen, MJ. Villanova, J. Steigmeier, D. Boff, L. Giménez, J. (2015). Vegetación de suelos decapitados (La Plata, Buenos Aires). *35° Jorn. Argent. Bot.* Salta.
- Kristensen, M. Boff, L. Steigmeier, D. Villanova, J. (2016) Vegetación espontánea en relación a los suelos y su uso en La Plata (Buenos Aires). *VI Reunión Binacional de Ecología.* Puerto Iguazú, Misiones.
- Lanfranco, J. Pellegrini, A. (2011). Efectos de la decapitación sobre un suelo del Gran La Plata. *Ciencia.*
- Ministerio de asuntos agrarios de la provincia de Buenos Aires. Dirección de agricultura. Departamento de suelos y agua. (1971). Uso de la tierra y capacidad de uso del suelo del Partido de La Plata para los años 1956 y 1971.
- MOP (1965-66, 1992, 1996) Fotografías Aéreas E: 1:20000). Dirección de Geodesia, Ministerio de Obras Públicas. La Plata.
- MOP (2001) Fotografías Aéreas. E: 1:30000. Dirección de Geodesia, Ministerio de Obras Públicas. La Plata.
- Ontivero, P. Couyoupetrou, L. Gonzalez Soto, F. Rolny, D. Forte, L. Hurtado, M. (2017). Análisis espacial de terrenos afectados por minería de suelo en un área del partido de La Plata a partir de índices de vegetación. *IV Congreso Internacional Científico y Tecnológico-CONCYT.* Provincia de Buenos Aires.
- Ontivero, P. González Soto, F. Rolny, D. Couyoupetrou, L. (2017). Aplicación de técnicas de análisis espacial para la identificación de suelos afectados por minería. *6° Congreso de Ciencias Ambientales COPIME 2017,* CABA, Argentina.
- QGIS Development Team (2016). *QGIS Geographic Information System.* Open Source Geospatial Foundation Project. Recuperado de <https://qgis.org>.
- Šmilauer, P. Lepš, J. (2014). *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO 5.* Cambridge University Press.
- Soil Survey Staff. (1999). *Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys.* 2<sup>nd</sup> Ed. USA: Agricultural Handbook.
- Steigmeier, D. Kristensen, M. Boff L. (2018). Factores que inciden en la recuperación natural de suelos decapitados (La Plata, Buenos Aires). *XXVIII Reunión Argentina de Ecología.* Mar del Plata.