

**CORRELACIÓN ENTRE LA VARIABILIDAD PRODUCTIVA INTRALOTE Y EL ÍNDICE VERDE NORMALIZADO (NDVI) HISTÓRICO DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES PARA EL CULTIVO DE SOJA, EN LOTES DEL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.**

Trabajo Final de Grado

del alumno



**Ingeniería Agronómica**

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.**

**Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.**

Junín, 14 de Agosto de 2020.

**CORRELACIÓN ENTRE LA VARIABILIDAD PRODUCTIVA INTRALOTE Y EL ÍNDICE VERDE NORMALIZADO (NDVI) HISTÓRICO DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES PARA EL CULTIVO DE SOJA, EN LOTES DEL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.**

Trabajo Final de Grado

del alumno

**ELIO ANDRÉS GARÍN**

Aprobada por el Tribunal Evaluador

(Nombre y Apellido)  
**Evaluador**

(Nombre y Apellido)  
**Evaluador**

(Nombre y Apellido)  
**Evaluador**

Javier Esteban Portillo  
**Co-Director**

Adriana Reneé Ferreyra  
**Director**

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,  
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires**

Junín, 14 de Agosto de 2020.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a la A.U.S. Adriana Ferreyra y al Ms. Sc. Ing. Agr. Javier Portillo por su apoyo total en este trabajo, brindándome todos sus conocimientos y tiempo. También al Ing. Agr. Marcelo López de Sabando por sus aportes e inquietudes, y la facilitación del material necesario para la realización del trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, por haber facilitado la educación Universitaria en la toda la Región, permitiendo estudiar a miles de alumnos de la zona donde en la mayoría de los casos, desarrollarán su profesión.

Por último a mi familia; quienes han estado incondicionalmente siempre para mí, realizando un esfuerzo muy grande durante todo mi ciclo universitario; por su comprensión y apoyo.

¡Muchas gracias a todos!

Elio Andrés Garín.

Junín, 14 de Agosto de 2020.

## ÍNDICE

1. Resumen .....	Página 3.
2. Introducción .....	Página 4.
2.1. Justificación .....	Página 4.
2.2. Hipótesis .....	Página 5.
2.3. Objetivo general .....	Página 5.
2.3.1. Objetivos específicos .....	Página 5.
3. Marco teórico .....	Página 6.
3.1. Agricultura de precisión .....	Página 6.
3.2. GPS .....	Página 6.
3.3. Mapa de rendimiento .....	Página 7.
3.4. Percepción remota .....	Página 8.
3.5. NDVI .....	Página 13.
3.6. Cultivo .....	Página 13.
4. Materiales y métodos .....	Página 14.
4.1. Área de Estudio .....	Página 14.
4.2. Materiales .....	Página 16.
4.3. Método .....	Página 17.
4.3.1. Determinación de tratamientos .....	Página 18.
4.3.2. Procesos realizados a los mapas de rendimiento ...	Página 20.
4.3.3. Procesos realizados a las imágenes satelitales ....	Página 21.
4.3.4. Comparación de tratamientos con testigo .....	Página 22.
5. Resultados y discusión .....	Página 23.
6. Conclusión .....	Página 26.
7. Referencias Bibliográficas .....	Página 28.
8. Anexo .....	Página 31.
8.1. Características Edáficas de lotes en estudio .....	Página 34.
8.2. Imágenes clasificadas (NDVI/Mapas) y coincidencias .....	Página 39.

## **1. RESUMEN.**

En un escenario de márgenes de ganancia acotados, existe la necesidad de optimizar la rentabilidad de la empresa agropecuaria preservando los recursos naturales. El objetivo de este trabajo fue definir una metodología simple para la determinación de ambientes productivos a escala de lote utilizando imágenes satelitales. Como base para realizar la investigación se utilizaron mapas de rendimiento obtenidos por un monitor a bordo de una cosechadora (testigo), y una combinación de índices verdes normalizados obtenidos por los satélites Landsat 5 y 7. Ambas fuentes de datos fueron procesadas para generar mapas de ambientes productivos (alto, medio y bajo) a escala de lote. La similitud entre las zonas de productividad delimitadas a partir de un mapa de rendimiento clasificado versus las obtenidas por la clasificación de un compilado de imágenes NDVI varió entre un 29 y 60%. Si bien los porcentajes fueron bajos, se identificaron algunas áreas de coincidencia espacial. Se recomienda trabajar con varios satélites/sensores de modo de poder disponer de suficientes observaciones, así como utilizar una serie histórica de mapas de rendimiento que permita generar una referencia más representativa y así validar con mayor consistencia el uso de imágenes NDVI históricas para la ambientación de lotes.

## **2. INTRODUCCIÓN.**

### **2.1. Justificación**

La mayoría de los sistemas productivos son variables en cuanto a su topografía, tipo de suelo, régimen hídrico, disponibilidad de nutrientes, etc. Esta variabilidad define el potencial de rendimiento a escala de predio y lote. Aunque esto es ampliamente conocido, las prácticas de manejo tradicionalmente aplicadas son de tipo uniforme, basadas en recomendaciones promedio.

Los cultivos pueden ser considerados como bioindicadores de la variabilidad en las condiciones ambientales a las que estuvieron expuestos (Adamchuk et. Al, 2011). Su rendimiento es el resultado del conjunto de factores bióticos y abióticos que determinan, limitan o reducen su crecimiento y desarrollo. Estos factores actúan a distintas escalas en el espacio y tiempo, originando así la variabilidad espacial y temporal de los rendimientos dentro del lote (Mulla y Schepers, 1997; Pierce y Nowak, 1999).

A partir de esta nueva mirada, en las últimas décadas, se ha promovido el desarrollo de tecnologías y principios para manejar la variabilidad espacio-temporal, con el fin de mejorar la eficiencia productiva y optimizar el uso de insumos y recursos. El conjunto de técnicas que buscan cumplir con esta premisa se ha denominado Agricultura de Precisión (AP) (Pierce y Nowak, 1999).

El concepto sobre el que se basa la AP, es aplicar la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto. Esto puede ayudar a mejorar los márgenes a través de un aumento del valor de rendimiento (cantidad o calidad), de una reducción en la cantidad de insumos, o de ambos simultáneamente. De aquí surge la necesidad de conocer esta variabilidad, para poder manejarla.

Para lograr una aplicación variable es esencial la delimitación de zonas de manejo uniforme. Según Doerge (1999), éstas se definen como subregiones dentro de los lotes con características relativamente homogéneas, en las que una proporción de insumos

única resulta apropiada. Diversas fuentes de datos se han empleado para la delimitación de zonas de manejo, entre ellas mediciones topográficas, mediciones espaciales de la conductividad eléctrica, mapas de rendimiento e imágenes obtenidas por sensores remotos.

Ante la necesidad de optimizar el uso de los recursos productivos reduciendo el impacto ambiental, se propone en este trabajo definir y validar una metodología de delimitación de ambientes de manejo utilizando datos históricos repetitivos y gratuitos obtenidos por sensores remotos a bordo de satélites.

## **2.2. Hipótesis**

La combinación de NDVI históricos permite identificar dentro de un lote zonas de diferente potencial de rendimiento de soja y predecir niveles cualitativos de productividad dentro de un lote.

## **2.3. Objetivo general**

Evaluar la utilización del NDVI de imágenes satelitales históricas como alternativa al uso del mapa de rendimiento, para detectar la posible variabilidad productiva que tendrá un lote sembrado con soja, en una campaña con características climáticas favorables (sin heladas, granizo y/o sequía).

### **2.3.1. Objetivos específicos**

- Describir, mediante la clasificación de NDVI, el comportamiento productivo de un grupo de lotes de soja, en el Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.
- Comparar cualitativamente el mapa de ambientes productivo generado a partir de la clasificación de imágenes NDVI históricas versus el obtenido por la clasificación del mapa de rendimiento (testigo).

- Analizar la viabilidad de esta metodología para ser utilizada con fines operativos.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Agricultura de Precisión.**

Esta técnica propone atender en forma diferenciada a los factores de producción de acuerdo a las características específicas de cada sitio, con el fin de maximizar la eficiencia en el uso de los recursos, minimizar el uso de insumos y los efectos de contaminación (Lago Gonzales, C. et al, 2011). La AP abarca desde la colecta de datos, procesamiento y generación de información para la toma de decisiones así como el uso de maquinarias agrícolas precisas.

El desarrollo de la AP tuvo impulso a partir de los recientes avances tecnológicos en materia de software, sistemas de información geográficos (GIS), sistemas de posicionamiento global (GPS), sensores y controladores de aplicación. Conceptualmente apunta a tratar cada zona de un lote en función de las condiciones y requerimientos específicos, mediante la aplicación de dosis variables de los distintos insumos (fertilizantes, herbicidas, etc).

En Argentina la AP comenzó a principios de 1996 en el INTA Manfredi, Córdoba, con el lanzamiento de lo que hoy es el Proyecto Nacional de Agricultura de Precisión, alcanzando nivel nacional en 1999. Las herramientas de AP más utilizadas en Argentina son el monitor de rendimiento y el sistema de guía por GPS (banderillero satelital).

#### **3.2 GPS (Sistema de Posicionamiento Global).**

En la década de los '80 la armada de Estados Unidos puso en funcionamiento un sistema de navegación basado en las emisiones de un reducido número de satélites. Este sistema fue desarrollado por el Departamento de Defensa de USA con fines militares, y luego extendió su uso a aplicaciones civiles, comenzando a utilizarse en náutica y aviación.



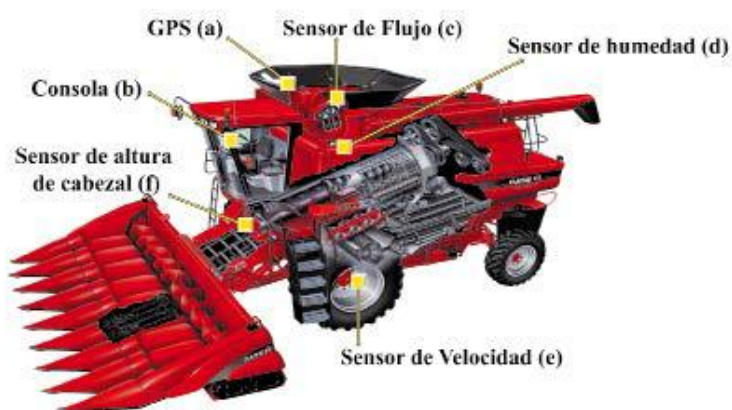
El sistema GPS permite localizar y ubicar en cualquier punto de una explotación, personas y objetos en tiempo real.

Hoy el uso del GPS es muy amplio, accesible, de fácil manejo, útil para toda persona que esté vinculada a la actividad agropecuaria, ya sea para la localización o para conocer la superficie de un predio, entre otras.

### 3.3 Mapa de rendimiento.

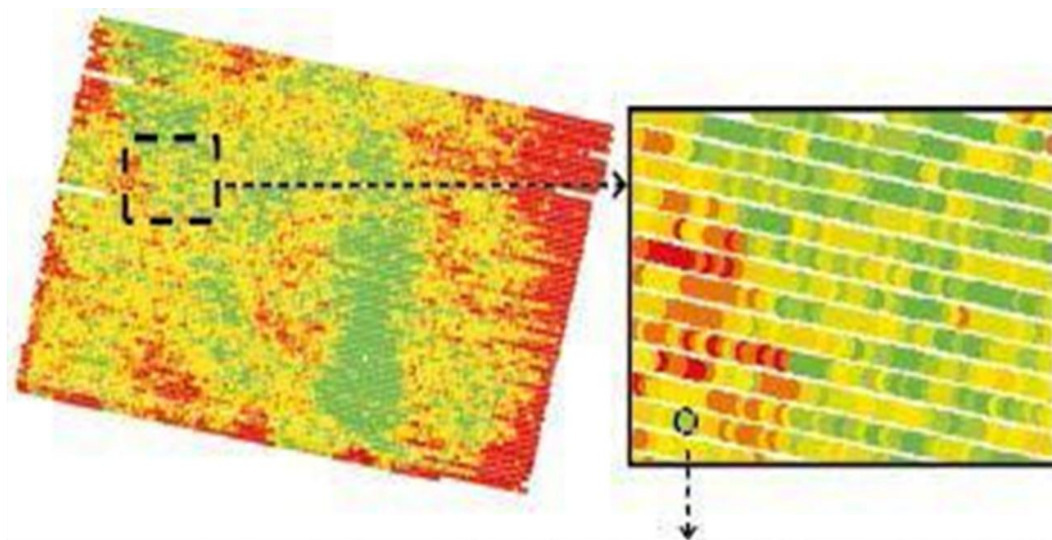
El mapa de rendimiento (MR) es una representación gráfica de una serie de datos geográficos de rendimiento, humedad de grano, velocidad de cosecha, etc; obtenidos mediante la utilización de una cosechadora equipada con monitor de rendimiento y un receptor GPS.

Para determinar el rendimiento instantáneo de los cultivos, se deben conocer tres cosas: el flujo de grano a través del sistema de grano limpio de la cosechadora, la velocidad de avance de la cosechadora, y el ancho de corte del cabezal. Éste último generalmente es configurado por el operario de la cosechadora (Figura 1). Si la velocidad de avance y el ancho de corte son conocidos, se puede calcular el área cosechada por unidad de tiempo. Luego, si se conoce el peso o el volumen de grano cosechado por unidad de tiempo y el área cosechada por unidad de tiempo, entonces se puede determinar el rendimiento.



**Figura 1.** Descripción de una cosechadora con monitor de rendimiento y GPS.

El mapa obtenido por el monitor (Figura 2) permite registrar la variabilidad de rendimiento existente de un cultivo dentro de un lote. Desde el punto de vista informático los datos son puntos posicionados en el espacio con atributos asociados (archivo vectorial).



	DATE	TIME_STRIN	TIME_NUM	LATITUDE	LONGITUDE	NORTHING	EASTHING	SPEED	SAT_STATUS	SAT_QTY	YIELD	CROPFLOW	COURSE	LEFT_LOSS	RIGHT_LOSS
1	2017/03/22	18:10:6	NULL	-33.95690	-60.56707	1	3	1.50000	3	10	5.32000	3190000	13322	0	0
2	2017/03/22	18:10:7	NULL	-33.95691	-60.56706	1	3	1.50000	3	10	5.89000	3587000	13296	0	0
3	2017/03/22	18:10:8	NULL	-33.95692	-60.56704	1	3	1.60000	3	10	6.24000	3835000	13297	0	0
4	2017/03/22	18:10:9	NULL	-33.95693	-60.56703	1	3	1.60000	3	10	6.43000	3962000	13249	0	0
5	2017/03/22	18:10:10	NULL	-33.95694	-60.56702	1	3	1.50000	3	10	6.82000	4247000	13322	0	0
6	2017/03/22	18:10:11	NULL	-33.95695	-60.56701	1	3	1.50000	3	10	7.14000	4411000	13380	0	0

**Figura 2.** Mapa de rendimiento y detalle de puntos

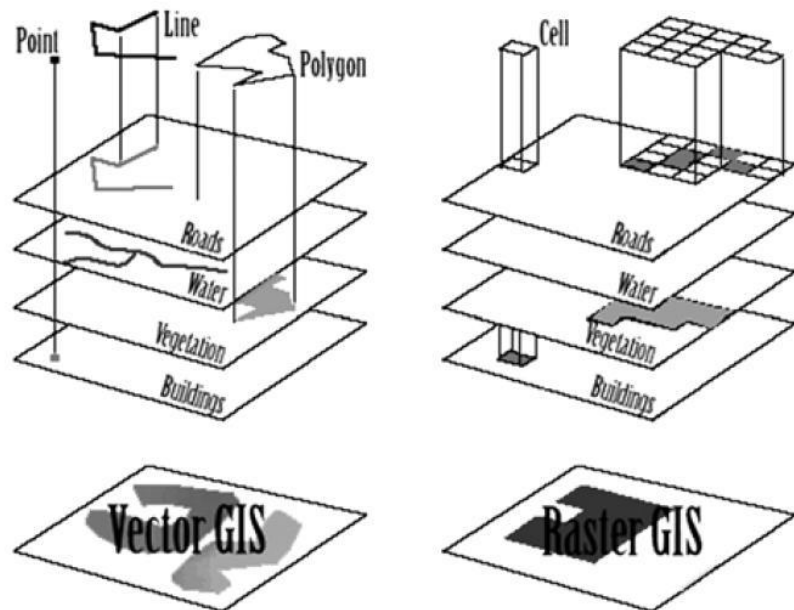
Fuente: Manual de Agricultura de Precisión, IICA, Procisur (2014).

### 3.4 Percepción remota.

Como se enunció anteriormente, otra herramienta fundamental en la AP es la percepción remota o “teledetección”; la cual es una adaptación o traducción del término inglés *remote sensing*, que fue definido alrededor de los años ´60 (Ormeño Villajos, 1993). Conceptualmente se refiere a la adquisición de información de un objeto sin estar en contacto físico con él. Esta disciplina incluye la adquisición de imágenes, procesamiento, realización de análisis e interpretación de los resultados.

Una imagen es un conjunto de datos digitales almacenados en una estructura raster. Desde el punto de vista informático, un raster es una matriz de números dispuestos en

forma de filas y columnas (Figura 3). La intersección de cada fila y columna determina un píxel.



**Figura 3.** Modos de representación de datos en un GIS (Modo Vectorial y Modo Raster).

Fuente: García y Flego (2012).

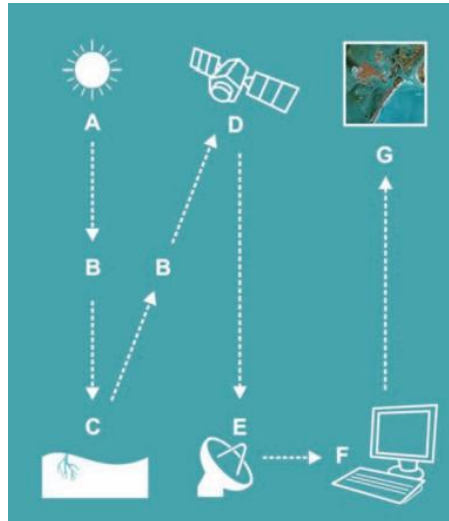
Los sensores remotos pueden dividirse principalmente en pasivos (Figura 4), que reciben la energía reflejada proveniente de una fuente exterior a ellos, por ejemplo el sol; y activos, que reciben la energía reflejada proveniente de una fuente propia.

La energía emitida por la fuente (radiación electromagnética o REM) puede atravesar la atmósfera terrestre, interactuar con ella y alcanzar el objeto de interés; también interactuar con éste, o sea, puede ser reflejada por el objetivo, transmitida o absorbida, y en este último caso parte de la misma es posteriormente emitida en forma de calor. Esa energía reflejada o emitida por el objetivo atraviesa nuevamente la capa atmosférica y llega al sensor, y allí es detectada y registrada por éste.

El sensor permanece alojado en una plataforma, que puede ser una aeronave, un vehículo aéreo no tripulado (VANT), un satélite artificial, etc.

En los sensores a bordo de vehículos remotos no tripulados (principalmente satélites), la energía registrada es transformada en señales eléctricas que, posteriormente, son

enviadas a estaciones terrestres y, en forma de imágenes, serán debidamente interpretadas para finalidades específicas.



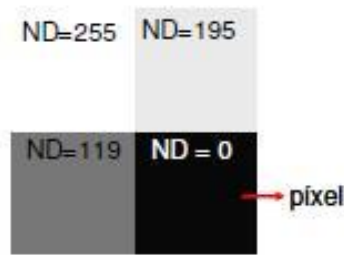
**Figura 4.** Elementos del proceso de teledetección (sensores pasivos).

Fuente: Labrador García et al., 2012.

Los diferentes tipos de REM se clasifican de acuerdo con su longitud de onda o frecuencia, y la representación gráfica de la distribución de esos diferentes tipos de REM se denomina espectro electromagnético de energía. La agrupación de REM con iguales características recibe el nombre de banda o segmento. Un sensor puede ser sensible a la energía electromagnética en distintas longitudes de onda, generando una imagen por cada banda.

En una imagen, el valor que presenta cada píxel, denominado Nivel Digital (ND) depende de la cantidad de energía reflejada por los distintos tipos de coberturas presentes en el área representada por el píxel en el terreno. El rango de valores depende de la resolución radiométrica del sensor (capacidad del sensor de detectar distintos niveles de energía).

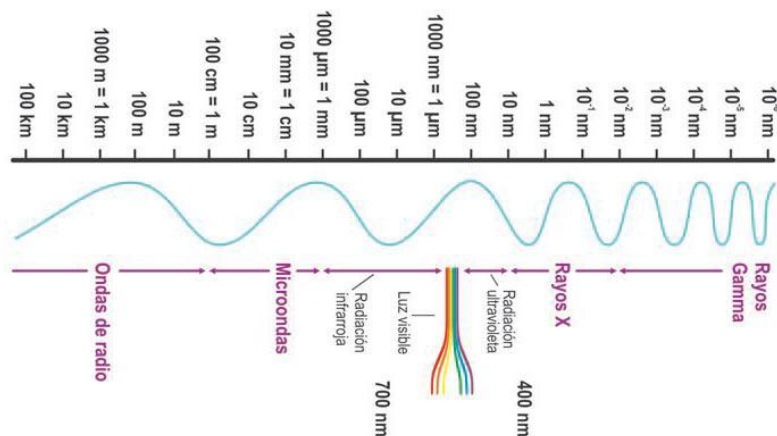
Cuando se visualiza una imagen se asigna una escala de colores o tonos de grises para representar sus ND (Figura 5).



**Figura 5.** Visualización de píxeles de una imagen de 8 bits de resolución radiométrica.

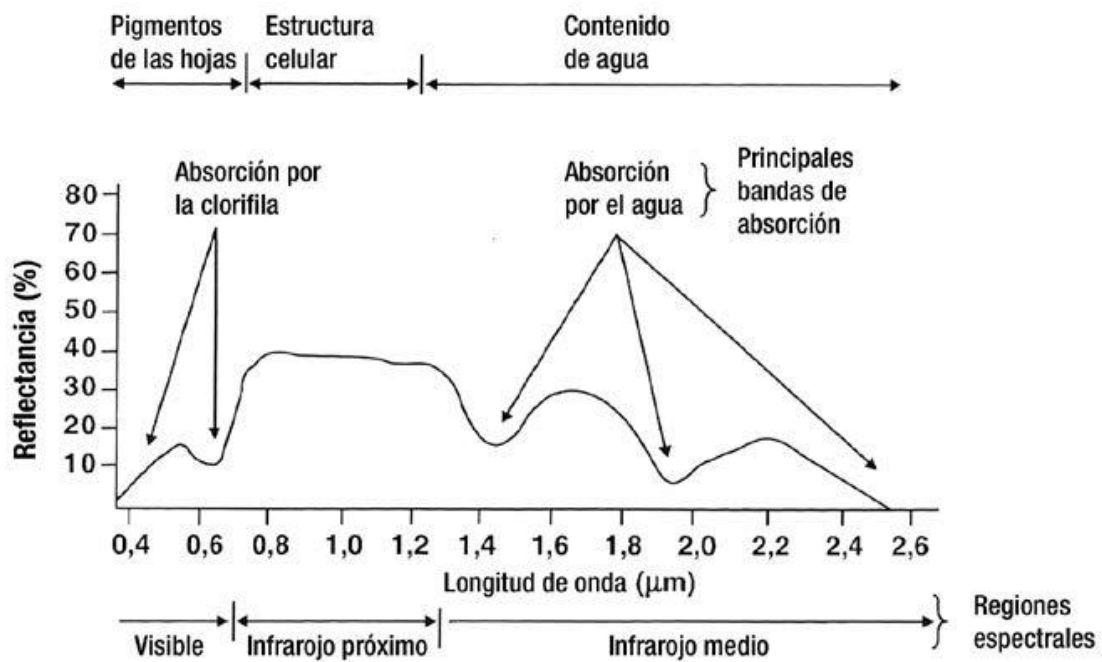
La radiación detectada por los sensores remotos corresponde a una porción de la radiación total del espectro electromagnético (Figura 6), según la resolución espectral del sensor (cantidad de bandas en las que registra información). Desde el punto de vista de la teledetección, cobran especial importancia las bandas espectrales correspondientes al:

- visible (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ): que el ojo humano puede percibir
- infrarrojo cercano (0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ ): para discriminar cubiertas vegetales
- infrarrojo medio (1,3 a 8  $\mu\text{m}$ ): para estimar contenido de humedad en vegetación
- infrarrojo lejano o térmico (8 a 14  $\mu\text{m}$ ): para detectar el calor de las distintas cubiertas
- microondas (a partir de 1  $\mu\text{m}$ ): transparente a las cubiertas nubosas.



**Figura 6.** El espectro electromagnético. Fuente: Labrador García et al., 2012.

Las cubiertas vegetales presentan una respuesta espectral típica (firma espectral) caracterizada por una reflectancia baja en la porción visible del espectro electromagnético (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ), con un máximo relativo en el verde (alrededor de 0,55  $\mu\text{m}$ ). Una zona de transición donde la reflectancia se incrementa considerablemente, conocida como borde rojo (0,7 a 0,8  $\mu\text{m}$ ); y una zona de reflectancia máxima en el infrarrojo cercano (0,8 a 1,3  $\mu\text{m}$ ). Cuando las plantas se hallan sometidas a estrés como deficiencias de nitrógeno u otros nutrientes, o estrés hídrico, el comportamiento espectral se ve afectado disminuyendo el contraste entre las bandas del visible y el infrarrojo cercano.



**Figura 7.** Firma espectral de vegetación verde y saludable. Fuente: Moreira (2005).

Las características espectrales de la vegetación se han utilizado como base para el estudio de los cultivos, a través del análisis de las bandas individuales del espectro o de índices espectrales, que son relaciones matemáticas entre las bandas de una imagen.

### 3.5. NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado).

El análisis de imágenes satelitales es uno de los métodos más utilizados para delimitar ambientes o zonas de diferente vigor a escala de lote; para esto se utiliza generalmente un índice de vegetación ampliamente difundido denominado NDVI. Este índice conocido por sus siglas en inglés (Normalized Difference Vegetation Index) fue definido por Tucker (1979), y es calculado utilizando la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{Nir - R}{Nir + R}$$

donde *Nir* es la reflectancia de la banda infrarrojo cercano y *R* la reflectancia de la banda del rojo. Este índice es utilizado para estimar características de la cobertura de la vegetación como biomasa, índice de área foliar y porcentaje de cobertura. El rango de valores posibles es de -1 a 1. Para la vegetación son positivos y cercanos a 1 cuanto más vigorosa es la vegetación.

### 3.6. Cultivo.

El cultivo utilizado para diseñar una metodología de ambientación en base a imágenes NDVI fue la soja, debido a su importancia productiva tanto por la cantidad de superficie sembrada así como por la obtención de derivados exportables.

Según datos del INDEC para el primer semestre del año 2019, el complejo oleaginoso argentino exportó por el valor de 8.543 millones de dólares, cifra que representa aproximadamente el 28% de la totalidad de las exportaciones de los diferentes complejos, seguido por el automotriz (U\$S3.378 millones, un 11%) y el maicero (U\$S2.893 millones, un 9,4%) respectivamente.

Del total exportado por el complejo oleaginoso, el 88,9% correspondió al complejo soja siendo los principales destinos del sector la Unión Europea, ASEAN (mayoritariamente Viet Nam e Indonesia), India, “Magreb y Egipto”, Medio Oriente y China.

De acuerdo a estos datos en lo que respecta al comercio mundial, cabe destacar que la Argentina fue el principal exportador de aceite y harinas y pellets de soja en 2018 (35% y 34% de las exportaciones mundiales, respectivamente); le siguieron en importancia Brasil y Estados Unidos.

En el caso de los porotos de soja, los principales proveedores fueron Brasil, Estados Unidos, Paraguay y Canadá, mientras que la Argentina se ubicó en el tercer y quinto lugar durante 2017 y 2018, respectivamente.

#### **4. MATERIALES Y MÉTODOS.**

##### **4.1. Área de estudio.**

Este trabajo se realizó en base a mapas de rendimiento obtenidos en el Establecimiento “Las Lilas”, de la localidad de Pasteur, partido de Lincoln, Provincia de Buenos Aires, cuyas coordenadas geográficas son 35°08´S y 62°13´O, a una altura de 110 metros sobre el nivel del mar (Anexo Figura 11). El Establecimiento y en particular los lotes fueron elegidos por la disponibilidad de datos históricos de manejo y mapas de rendimiento, necesarios para la realización del trabajo (Anexo Figura 12).

El área de estudio se encuentra dentro de la Pampa Arenosa. Los materiales formativos fueron aportados por vientos de dirección SO-NE y depositados en etapas sucesivas, situación que queda demostrada en la conformación de antiguos cordones medanosos que presentan similar dirección. Los aportes se produjeron en forma cíclica, alternándose períodos de edafización y de erosión sucesivos, lo cual ha generado discontinuidades litológicas observables en los perfiles de los suelos. Según lo verificado en la carta de suelos de la República Argentina, los lotes bajo estudio se encuentran casi en su totalidad



en la unidad cartográfica Ln29 (Asociación Lincoln 29: 60% Serie Lincoln – Hapludol típico, 30% Serie Ameghino – Hapludol éntico, 10% Serie Cañada Seca – Hapludol thapto árgico) (Anexo 8.1).

En esta región la red de drenaje está muy poco definida y existen algunas cuencas arreicas que presentan lagunas permanentes; en algunos sectores se insinúan algunas vías de escurrimientos entre cordones medanosos, que funcionan a manera de red de drenaje en épocas de precipitaciones, pero las cuales no alcanzan a desagotar totalmente la zona cuando las mismas son abundantes. Según relevamientos realizados por el INTA de General Villegas para ese Partido y para el de Lincoln (“Comportamiento de napas y calidad de agua en los Partidos de General Villegas y Lincoln”), la napa freática muestra una movilidad interanual importante; en estudios que comparan su profundidad con las precipitaciones, más allá de los valores absolutos, los resultados muestran la misma tendencia estacional; en general, la curva de nivel freático se comporta más estable que la de las precipitaciones, con cambios menos abruptos. Además, abundantes precipitaciones producen una elevación de la napa pero con un leve desfase en el tiempo.

En cuanto al potencial del área de estudio, se observa que la unidad Ln29 tiene un índice de productividad de 70, sin grandes restricciones para el crecimiento de los cultivos. Respecto a la dinámica del uso del suelo, se han detectado en la región importantes fluctuaciones en la última década, el cultivo de grano grueso más extendido es la soja, y el trigo es el más destacado entre los de grano fino. En el caso particular del Establecimiento “Las Lilas”, donde están localizados los lotes bajo estudio, el planteo es de rotación entre agricultura y ganadería.

Los registros de temperatura media anual son de 16° C, con una mínima promedio anual de 10,2 ° C y máxima promedio anual de 22,5° C. Las estadísticas del período entre 1971 y 1990, muestran que los meses más lluviosos son enero y marzo con un promedio de

154 mm, y el mes menos lluvioso es agosto con 34,5 mm de promedio. El régimen pluviométrico sin embargo no se ha mantenido constante, sino que viene experimentando un paulatino aumento en las últimas décadas. Las precipitaciones mayores se dan en la época estival con valores anuales promedio de 1048 mm.

#### **4.2. Materiales.**

Para la realización del trabajo, fue necesario el uso de:

- *Mapas de rendimiento:* los datos corresponden a tres lotes cultivados con soja en la campaña agrícola 2009-2010 (Anexo Figura 13). En los 3 casos la cosecha fue de un rendimiento alto (campaña utilizada como testigo) (Anexo Figura 14).
- *Imágenes satelitales:* se utilizaron cuatro imágenes Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+ obtenidas del sitio Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Los satélites Landsat 5 y 7, de órbita casi polar y heliosincrónica, observan la tierra a una altura de 705 kilómetros siendo capaces de tomar datos de un mismo lugar cada 16 días. Estos satélites disponen de dos sensores multiespectrales, el TM y el ETM+ respectivamente. Ambos generan imágenes en las siguientes bandas: tres en la zona del visible (azul-rojo-verde), una en infrarrojo cercano, dos en infrarrojo medio y una en infrarrojo lejano. La resolución espacial es de treinta metros y la radiométrica de 8 bits, en los dos casos.

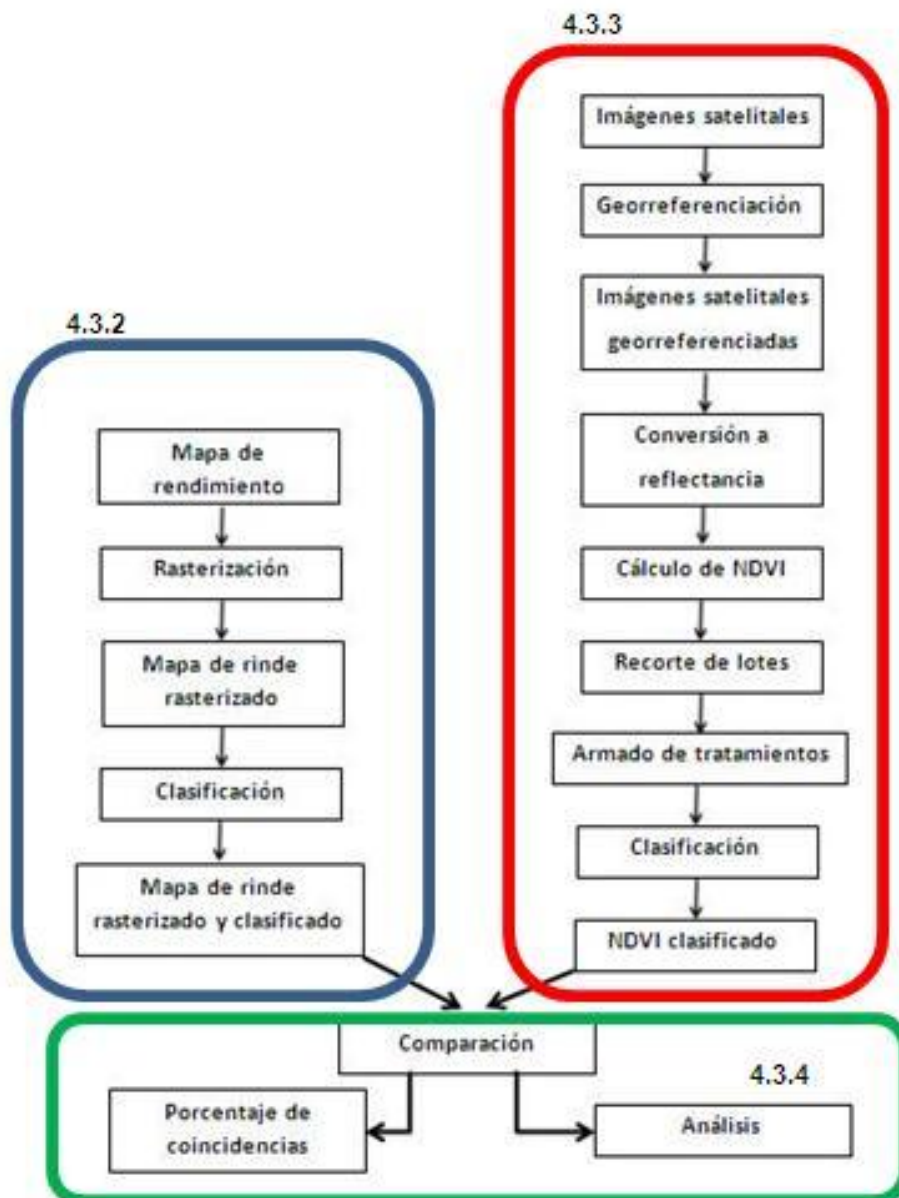
El área de estudio seleccionada está cubierta por las imágenes Landsat de Path 227 y Row 84 (227/84). De la totalidad de las imágenes seleccionadas para el rango de años analizados (1997-2008), fueron descartadas las que presentaron coberturas por nubosidad o que coincidieron con momentos donde los lotes bajo estudio tuvieron uso ganadero.

- *Software:* se utilizaron para todo el procesamiento los programas ERDAS Imagine 9.1, ArcGis 9.3, GVSIG 1.9 y Office 2003.

- *Datos de precipitaciones del Establecimiento (Anexo Tabla 1), rendimientos y rotación de cultivos (Cuadro 1) de los lotes bajo estudio.*

### 4.3. Método.

El método utilizado constó de cuatro etapas: (1) determinación de tratamientos, (2) procesamiento de mapas de rendimiento, (3) procesamiento de imágenes satelitales y (4) comparación de tratamientos con testigo. En la Figura 8 se presentan los pasos de las etapas 2,3 y 4.



**Figura 8.** Diagrama de flujo de procesos

### 4.3.1. Determinación de tratamientos.

Con base en los datos de rotación y rendimiento promedio de soja (Cuadro 1) se clasificó cada combinación lote/campaña en dos categorías: soja alto rendimiento o soja bajo rendimiento. El umbral de rendimiento utilizado para esta categorización fue definido usando como criterios el análisis descriptivo de todos los mapas históricos de rendimiento de soja de la explotación agropecuaria y la comunicación personal con el responsable de la AER Lincoln-INTA, en carácter de referente de la zona en el año 2014.

El umbral utilizado fue el siguiente:

Menos de 3500 kg/ha	<b>BAJO RENDIMIENTO</b>
Igual o más de 3500 kg/ha	<b>ALTO RENDIMIENTO</b>

**Cuadro 1.** Datos descriptivos de lotes bajo estudio.

CAMPAÑAS	LOTES		
	LL1B (69 HAS)	LR23A (105 HAS)	LSZ09 (76 HAS)
1997-1998			
1998-1999	MAÍZ 8400 KG/HA	MAÍZ 8700 KG/HA	MAÍZ 6500 KG/HA
1999-2000		MAÍZ 7000 KG/HA	
2000-2001	SOJA 3700 KG/HA	SOJA 2900 KG/HA	TRIGO 3740 KG/HA
2001-2002		SOJA 2900 KG/HA	
2002-2003	SOJA 4340 KG/HA	SOJA 2980 KG/HA	
2003-2004			
2004-2005		SOJA 3710 KG/HA	SOJA 4320 KG/HA
2005-2006		MAÍZ 7360 KG/HA	MAÍZ 10320 KG/HA
2006-2007		SOJA 3550 KG/HA	SOJA 4840 KG/HA
2007-2008	SOJA 4170 KG/HA	SOJA 2150 KG/HA	TR 5380 KG/HA-SJ 2610 KG/HA
2008-2009			MAÍZ 8210 KG/HA
2009-2010	SOJA 3530 KG/HA	SOJA 3530 KG/HA	SOJA 3960 KG/HA

**REFERENCIAS:** LL1B (Las Lilas 1B); LR23A (La Reacción 23A); LSZ09 (La Suiza 09); TR (Trigo); SJ (Soja); Amarillo (imágenes satelitales disponibles); Rojo (imágenes satelitales no disponibles); Gris oscuro (campañas donde los lotes fueron utilizados para ganadería); Gris claro (datos de rendimiento de la campaña testigo).

Esta información fue esencial para agrupar posteriormente las imágenes satelitales. A partir de la identificación de las campañas con soja se procedió a realizar la búsqueda de imágenes Landsat 5 y 7 sin nubes, priorizando el momento del año donde el cultivo manifiesta su máximo desarrollo vegetativo. Luego, utilizando la categorización lote/campaña las imágenes se agruparon en tratamientos llamados soja alto rendimiento (SAR), soja bajo rendimiento (SBR) y todo soja (TS). Este último tratamiento agrupa todas las imágenes para las campañas con soja independientemente del rendimiento obtenido. En el Cuadro 2 se encuentran detalladas las fechas de las imágenes utilizadas para la realización de los tratamientos. Por ejemplo, se utilizó la imagen de fecha 11/01/2001 en los tratamientos de Soja Alto Rendimiento (SAR) y Todo Soja (TS) para el lote LL1B. Esa misma imagen fue utilizada en los tratamientos de Soja Bajo Rendimiento (SBR) y Todo Soja (TS) para el lote LR23A. El tratamiento Todo Soja (TS) incluye la combinación de imágenes para ese lote tanto para Soja Bajo Rendimiento (SBR) como para Soja Alto Rendimiento (SAR).

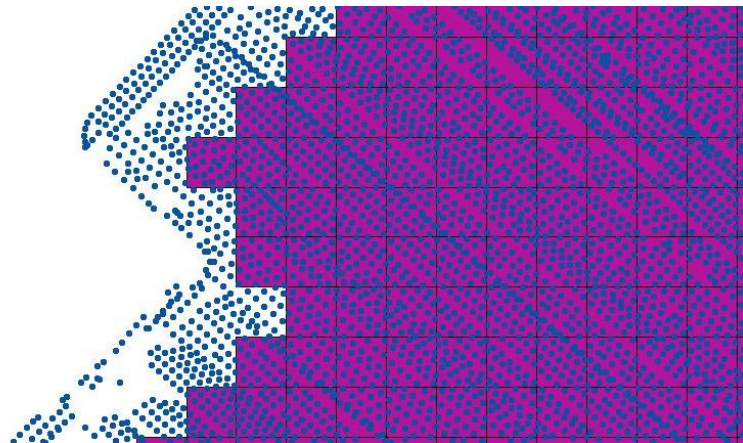
**Cuadro 2.** Fechas de las imágenes utilizadas para confeccionar los tratamientos para cada lote.

		<b>LOTES</b>		
		<b>LL1B</b>	<b>LR23A</b>	<b>LSZ09</b>
<b>IMÁGENES</b>	<b>11/01/2001</b>	<i>SAR/TS</i>	<i>SBR/TS</i>	
	<b>25/01/2003</b>	<i>SAR/TS</i>	<i>SBR/TS</i>	
	<b>06/01/2005</b>		<i>SAR/TS</i>	<i>SAR/TS</i>
	<b>13/02/2007</b>		<i>SAR/TS</i>	<i>SAR/TS</i>
	<b>16/02/2008</b>	<i>SAR/TS</i>		

**REFERENCIAS:** LL1B (Lote Las Lilas 1B); LR23A (Lote La Reacción 23A); LSZ09 (Lote La Suiza 09); SAR (Soja Alto Rendimiento); TS (Todo Soja); SBR (Soja Bajo Rendimiento).

#### 4.3.2. Procesamiento de mapas de rendimiento.

Tal como se observa en la Figura 2 los datos obtenidos por un monitor de rendimiento son representados por puntos geo posicionados. Para poder comparar estos datos con los obtenidos por imágenes satelitales, se realizó un proceso llamado rasterización. Este consistió en tomar una imagen de las utilizadas en el trabajo y transformarla en un archivo de polígonos. Este archivo fue utilizado como molde donde se superpuso el archivo de puntos del mapa de rendimiento. Con esto se obtuvo una matriz en la que a cada celda le correspondió uno o más puntos de rendimientos (Figura 9). Luego, se realizó el promedio de todos los puntos de una misma celda en un solo valor de rendimiento.



**Figura 9.** Rasterización de mapa de rendimiento. Grilla de referencia de 30 x 30 m.

A partir de la capa obtenida se realizó una clasificación no supervisada con el objetivo de agrupar píxeles con valores digitales de rendimiento similares. A cada grupo generado por el clasificador se lo denomina clase (Arango et al. 2005). El algoritmo de clasificación no supervisado utilizado no requirió ningún conocimiento previo sobre los datos, ya que trata de discriminar píxeles en función de valores cuantitativos de diferenciación entre unos y otros (Chuvienco, 2002). Los píxeles fueron agrupados en tres clases, utilizando un número alto de iteraciones (30) para que la limitante del proceso sea el nivel de convergencia (0,98); dando como resultado un raster temático con valores discretos que representan

zonas de alto, medio y bajo rendimiento para cada lote y campaña. Para realizar el procesamiento de los mapas se utilizó el software ERDAS Imagine 9.1.

El producto final de este proceso fueron tres mapas de rendimiento rasterizados de la campaña 2009/2010 (testigo) de los lotes LL1B, LR23A, LSZ09.

#### **4.3.3. Procesamiento de imágenes satelitales.**

El primer paso ejecutado fue la georreferenciación de las imágenes a la proyección Gauss Krugger, utilizando como referencia una imagen ortorectificada obtenida del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés). A continuación se procedió a convertir el valor digital de estas imágenes en valor de reflectancia aparente. El objetivo de esta conversión fue poder operar con imágenes con diferentes condiciones de iluminación solar. Esto se debe a que, a diferencia de los valores digitales, la reflectancia aparente es una magnitud física que representa la relación entre la energía reflejada por la cobertura terrestre respecto a la energía incidente del sol. Posteriormente se calcularon los índices de vegetación de diferencia normalizado (NDVI), se recortaron para los lotes de interés y se armaron los tratamientos mediante la generación de archivos multicapas. Luego de este procesamiento, se realizó una clasificación no supervisada con los mismos parámetros a la de los mapas de rendimiento rasterizados. De este modo se obtuvo una capa raster temática con valores discretos que representan zonas de alto, medio y bajo NDVI para cada tratamiento.

Cabe aclarar que se utilizó solamente el NDVI como índice verde debido a que no detectamos saturación del mismo al momento de máximo desarrollo del cultivo. Por lo tanto, no se justificó el uso de un índice como el EVI (**E**nhan**V**egetation **I**ndex) para minimizar este efecto. También se descartó el uso de un índice que corrija el efecto distorsivo del suelo en la señal, ya que se asumió que en el momento de máximo desarrollo vegetativo la proporción de suelo descubierto es nula.

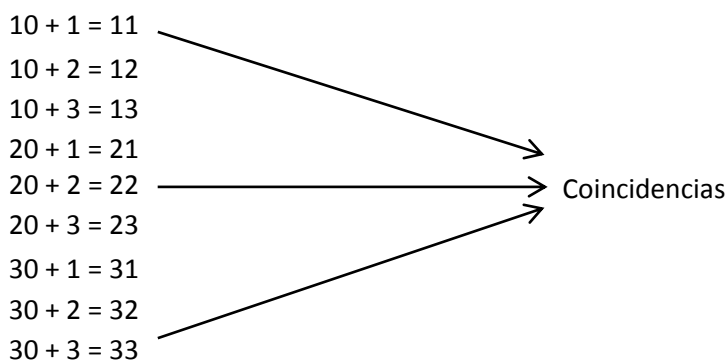
#### 4.3.4. Comparación de tratamientos con testigo.

Con el objetivo de identificar el tratamiento que mejor ajustó con el mapa testigo fue aplicada una operación aritmética entre capas rasters (mapa de rendimiento testigo clasificado y tratamiento clasificado). La operación permitió detectar aquellos píxeles con igual valor en ambas imágenes y calcular el porcentaje de coincidencias. Para esto se multiplicó el valor de cada píxel del mapa de rendimiento por diez (x 10).

**Cuadro 3.** Valores obtenidos de la clasificación, previo a comparación.

Clasificación NDVI's de imágenes	Clasificación Mapas de Rendimiento
1	10
2	20
3	30

Luego, se sumó el valor de los píxeles de la clasificación NDVI con los del mapa de rendimiento, obteniendo los posibles resultados:



De todos los posibles resultados interesan sólo aquellos valores con las dos cifras iguales: 11, 22 y 33. Estos indican coincidencia entre mapas (tratamientos vs. testigo) correspondiendo a bajo-bajo, medio-medio y alto-alto respectivamente. En el ejemplo de la figura 10 se visualizan en rojo las coincidencias.





**Figura 10.** Imagen mostrando los píxeles coincidentes en rojo entre un tratamiento y el testigo.

Para obtener el porcentaje, se utilizó el cociente entre el número de píxeles coincidentes y el número total de píxeles para cada tratamiento.

## 5. RESULTADOS y DISCUSIÓN.

En el Cuadro 4 se presentan las coincidencias con los mapas testigos. En este caso los valores son expresados en unidades de superficie considerando que un pixel representa 900 metros cuadrados.

**Cuadro 4.** Porcentaje de áreas coincidentes para cada lote y tratamiento respectivamente.

TRATAMIENTO	TOTAL PÍXELES COINCIDENTES (ÁREA)	% COINCIDENCIAS
LL1B SAR/TS (73 HAS)	21	29
LR23A SAR (102 HAS)	44	43
LR23A SBR (102 HAS)	58	56
LR23A TS (102 HAS)	61	60
LSZ09 SAR/TS (78 HAS)	30	38

**REFERENCIAS:** LL1B (Las Lilas 1B); LR23A (La Reacción 23A); LSZ09 (La Suiza 09); SAR (Soja Alto Rendimiento); SBR (Soja Bajo Rendimiento); TS (Todo Soja).

La similitud entre las zonas de productividad delimitadas a partir de un mapa de rendimiento clasificado versus las obtenidas por la clasificación de un compilado de imágenes NDVI varió entre un 29 y un 60%. Los valores de coincidencia más altos se hallaron en el lote LR23A, donde alcanzó un máximo de 60% de coincidencia para el tratamiento “TS”, y un mínimo de 43% para el tratamiento “SAR”. Los valores más bajos se encontraron en el lote LL1B para los tratamientos “SAR” y “TS”. El valor obtenido para ambos tratamientos es idéntico, debido a que no se dispuso de imágenes NDVI para una campaña con rendimientos bajos. En consecuencia, el compilado para los tratamientos “SAR” y “TS” poseen las mismas imágenes. Similar situación ocurrió para el lote LSZ09, donde en los tratamientos “SAR” y “TS” se obtuvo un 38% de coincidencias.

Si bien los porcentajes de coincidencias son relativamente bajos, se observaron algunos patrones relacionados con los aciertos por clase. Por ejemplo en los lotes LR23A y LSZ09 (Anexo Figuras 29 y 30) se detecta una mayor cantidad de coincidencias para las clases alta y media; esto también se observó en menor medida en el lote LL1B (Anexo Figura 28). En términos generales al comparar ambos mapas clasificados (tratamiento vs testigo) se detecta claramente que los mapas NDVI clasificados son más homogéneos. Esto podría explicarse por la homogeneidad, en términos de biomasa, de los lotes.

En el Cuadro 5 se presentan los valores promedio de coincidencia para cada lote. Se observa una diferencia de 24 puntos entre el promedio del lote LL1B (29%) y el lote LR23A (53%). Al analizar el porcentaje promedio de coincidencias de los tratamientos para los tres lotes, observamos que al utilizar todas las imágenes disponibles (TS) independiente del tipo de campaña, aumentaría el porcentaje de coincidencia.

**Cuadro 5.** Cuadro resumen de porcentaje de coincidencias promedio.

	<i>LOTES</i>			
<i>TRATAMIENTOS</i>	<i>LL1B</i>	<i>LR23A</i>	<i>LSZ09</i>	<i>MEDIA</i>
<i>SAR</i>	29	43	38	37
<i>SBR</i>		56		56
<i>TS</i>	29	60	38	42
<i>MEDIA</i>	29	53	38	45

**REFERENCIAS:** LL1B (Las Lilas 1B); LR23A (La Reacción 23A); LSZ09 (La Suiza 09);

SAR (Soja Alto Rendimiento); SBR (Soja Bajo Rendimiento); TS (Todo Soja).

El bajo porcentaje de coincidencia entre mapas (tratamientos vs. testigo) podría explicarse por diferentes motivos como: la relación matemática entre el índice verde y el rendimiento, la disponibilidad de datos de campaña, el tipo de cultivo bajo análisis, las muestras y datos testigo utilizados en el experimento.

En relación a los datos de teledetección, debemos considerar que estos se encuentran directamente relacionados con la biomasa verde del cultivo y no con los granos cosechados. Por lo tanto, la ocurrencia de cortos períodos de estrés durante la floración y el cuaje tiene un efecto directo en el rendimiento, sin embargo el volumen de biomasa puede no sufrir demasiados cambios; esto hace que el nivel de sensibilidad del NDVI para detectar ambientes productivos (alto, medio, bajo) sea insuficiente. Una prueba de ello es que, al analizar visualmente los mapas NDVI clasificados (tratamientos) se detectó que son más homogéneos que los obtenidos al clasificar los mapas de rendimiento (Anexo Figura 28, 29 y 30). Por lo tanto, existe una variabilidad en el rendimiento que no sería capturada si solo observamos variaciones de la biomasa.

Respecto al cultivo de soja, si bien su plasticidad podría explicar la incapacidad del NDVI para discriminar zona de diferente rendimiento; Zúñiga et al (2015) encontraron valores de

coincidencia semejantes entre mapas para el cultivo de maíz en la misma región y período de análisis. Este comportamiento similar para ambos cultivos podría estar explicado por el manejo productivo del establecimiento, ya que se utiliza una rotación estricta entre agricultura, producción de forrajes y ganadería, favoreciendo el ciclado de nutrientes y reduciendo así diferencias de respuesta de los cultivos ante posibles estrés abióticos (Loewy, 2005; Li, et al 2019).

Finalmente, otro factor que explicaría los resultados obtenidos es la falta de datos. Esto se debió a dos factores; la disponibilidad de imágenes satelitales libres de nubes y el planteo productivo del establecimiento bajo análisis. Tal como fue presentado en el Cuadro 1, el establecimiento tiene un planteo mixto agrícola-ganadero, por lo tanto si bien fueron analizadas 13 campañas, el número de lotes con soja no fue suficiente para capturar la variabilidad productiva en escenarios de sequía o exceso de humedad.

## **6. CONCLUSIÓN.**

El método de trabajo propuesto tiene un costo muy bajo, sin embargo, está condicionado por la disponibilidad de datos de campo y de teledetección en periodos de alta cobertura de nubes.

El bajo nivel de coincidencia entre los mapas (tratamientos vs. testigo) pudo deberse a que el índice es sensible a la variación biomasa y no de rendimiento; este desacople índice/rendimiento es más notorio cuando el lote bajo análisis es homogéneo y la campaña considerada es óptima.

Un aspecto a considerar en trabajos futuros, es analizar el impacto en los resultados de la elección de la fecha de la imagen NDVI dentro del ciclo del cultivo. Sería interesante evaluar si es suficiente utilizar una única imagen, o considerar más imágenes de modo de describir mejor la campaña.

En los últimos años se han lanzado al espacio nuevos satélites capaces de generar imágenes con resolución espacial y temporal adecuadas, por lo que se sugiere probar la metodología propuesta utilizando estos nuevos datos, los cuales permiten generar índices correlacionados con otras variables del cultivo como la concentración de clorofila en la hoja.

Finalmente, ante la necesidad de disponer de una metodología barata y expeditiva para la toma de decisiones a la hora de planificar una campaña agrícola, se recomienda validar los tratamientos planteados en este trabajo considerando las características de la zona de estudio.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

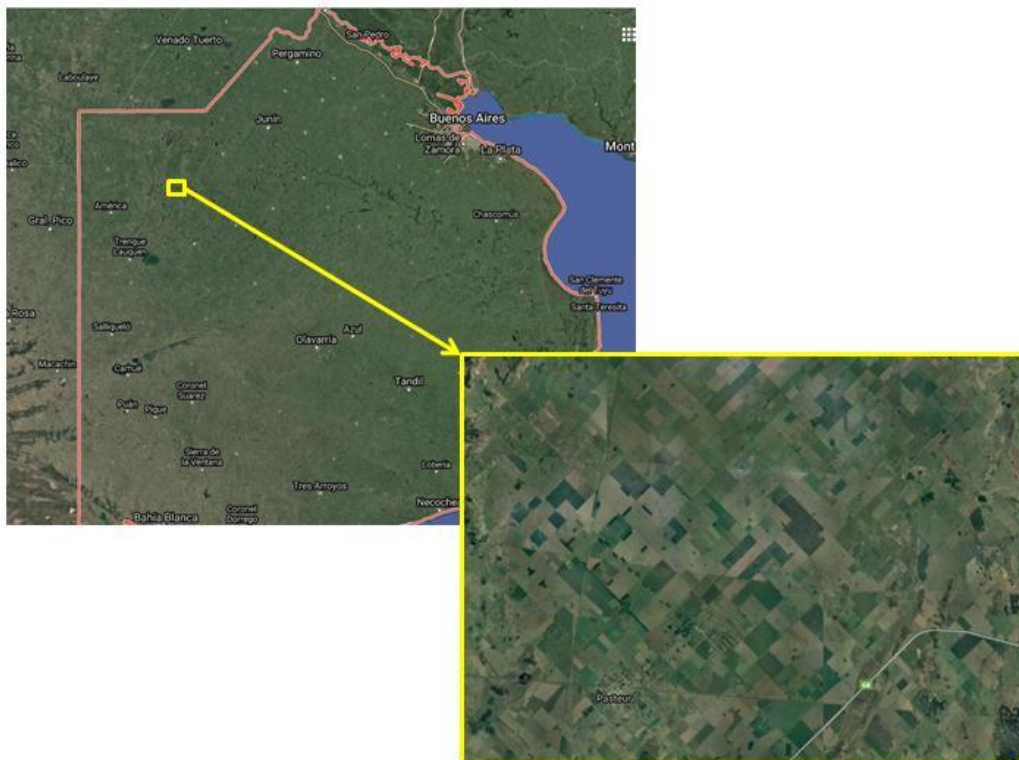
- Arango, M., Branch, J. y Botero, V. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos: “LANDSAT–ETM+.” Facultad Nacional de Agricultura Medellín.
- Bragachini, M.; Martini, A.; Méndez, A. (2000). Manejo Sitio Específico de Cultivos. Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Manfredi.
- Bolsa de Comercio de Rosario. (2017). Argentina en el mercado mundial de granos y subproductos. Disponible en: <https://www.bcr.com.ar>
- Brouder, S.M. (1999). Applying site-specific management in soil fertility research and developing management information for variable rate technologies. In Proceedings of Information Agriculture Conference. Purdue University. p. 321.
- Chuvieco Salinero, E. (2002). Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Ariel Ciencia, 589 pgs.
- Datos Agroindustriales. Disponible en: <https://datos.agroindustria.gov.ar>
- Espinosa, José. (2018). Manejo de nutrientes en agricultura por sitio específico en cultivos tropicales. VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.
- García, E. y Flego, F. (2012). Revista Ciencia y Tecnología, Agricultura de Precisión. Universidad de Palermo.
- Georgi, C.; Spengler, D.; Itzerott, S.; Kleinschm, B . (2018). Automatic delineation algorithm for site-specific management zones based on satellite remote sensing data. Precision Agric. 19:684–7.
- Kemerer, A. (2011). Procedimientos para la delimitación de zonas de manejo mediante imágenes satelitales. 1ra Edición. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Ediciones INTA.

- Labrador Garcia, M.; Évora Brondo, JA.; Arbelo Pérez, M., 2012. Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio. Gobierno de Canarias. Litografía Romero. p. 14-55.
- Li, J., Huang, L., Zhang, J. et al. (2019). Diversifying crop rotation improves system robustness. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 38. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0584-0>.
- Loewy, T. (2005). Rotación de cultivos en la región pampeana, volviendo a las fuentes. En: Actas de las III Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense, 2 al 4 de septiembre de 2004. Ed: Universidad Nacional del Sur.
- Mantovani E. C; Magdalena, C. (2014). Manual de Agricultura de Precisión. IICA PROCISUR.
- Méndez, A.; Vélez, J., P; Villaroel, D. (2010). Puntos clave para lograr un mapa de rendimiento con datos confiables. Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Manfredi.
- Mieza, M.S., Kovac, F.D, (2007) Monitoreo de cultivos a nivel de lote mediante imágenes satelitales: Aplicaciones en Agricultura de Precisión. TELEDETECCION. Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. Editores Raúl Rivas, Alfredo Grisotto, Mónica Sacido, ISBN 978-987-543-127-0.
- Ministerio de Hacienda. Presidencia de la Nación (2019). Informes técnicos Vol. 3 N°159 ISSN 2545-6636. Comercio Exterior Vol. 3 N°14. INDEC. Págs. 3-7-8.
- Pierce, F. J. y Nowak, P. (1999). Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy* 67: 1-85.
- Proyecto Agricultura de Precisión (2000). Alcances y Precisión de los Monitores de Rendimiento, INTA Manfredi.

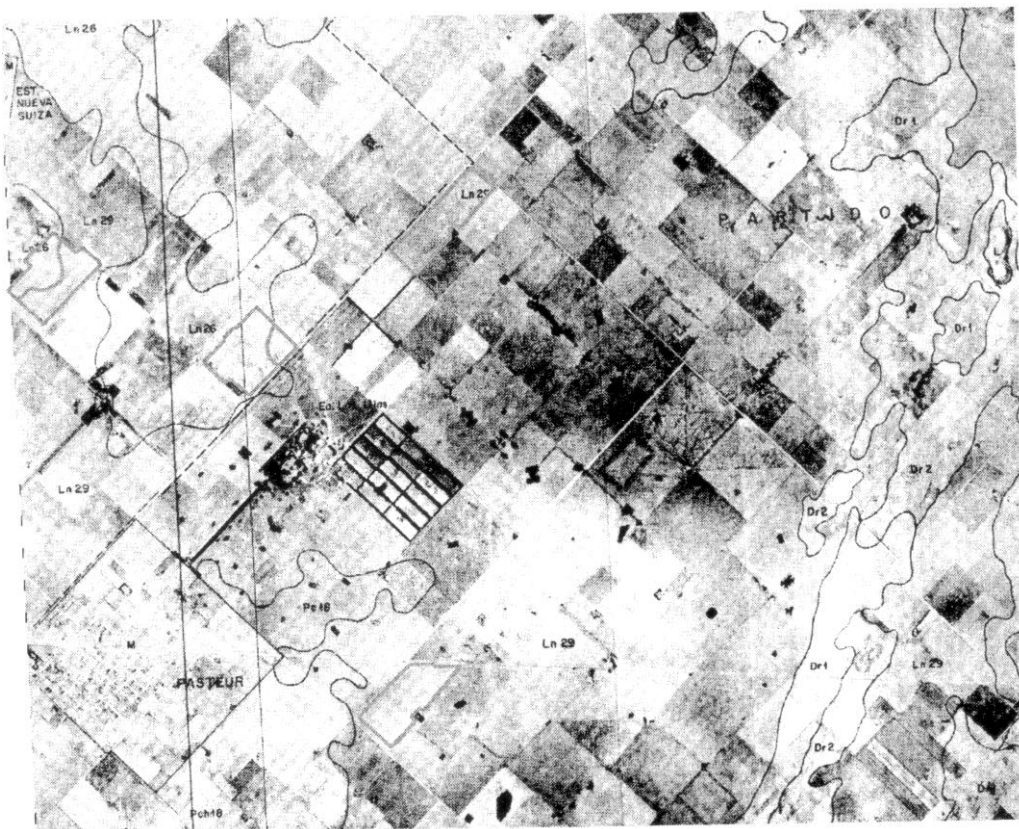
- Salvaggiotti, F.; Rotundo, J.L.; Di Mauro, G.; Condorí, A.; Gallo, S.; Pozzi, R. y Boxler, M. (2016). Rendimientos potenciales y brechas de rendimiento de soja en la campaña 2014-15. Para Mejorar la Producción 54 - INTA EEA OLIVEROS.
- Serrano, L.; Fillella, I. y Peñuelas, J. (2000). Remote Sensing of wheat biomass and yield under different N supplies. CROP SCIENCE. 40: 723-731.
- Torroba, F. y Menendez F. J. (2007). Utilidad de diferentes combinaciones de bandas para la delimitación de ambientes en un establecimiento agropecuario de la Región Pampeana. AACREA.
- Towers, Pedro C. y von Martini, Axel F. (2002). Conceptos iniciales sobre teledetección y su aplicación al agro. Primera Edición. AgriSat.
- Tucker C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations monitoring vegetation. Journal of Remote Sensing Environment. 127-150.
- Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata (2018). Evaluación de impacto ambiental. Correspondiente al proyecto: Readecuación del Matadero-Frigorífico Municipal de la localidad de Lincoln, Partido de Lincoln, Provincia de Buenos Aires. Disponible en: [http://www.concejolincoln.gob.ar/archivos/expedientes/eia\\_matadero\\_lincoln\\_final\\_1.pdf](http://www.concejolincoln.gob.ar/archivos/expedientes/eia_matadero_lincoln_final_1.pdf).
- USGS Earth Explorer data portal. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- Visor GeoINTA. Disponible en : <http://visor.geointa.inta.gob.ar/?p=812>.
- Zúñiga, P. D; Ferreyra, A; Portillo, J. y López de Sabando, M. J (2015) . Predicción de zonas de productividad de maíz mediante índice de verdor de cultivos anteriores. Disponible en: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/prediccion-zonas-productividad-maiz-t31945.htm>.



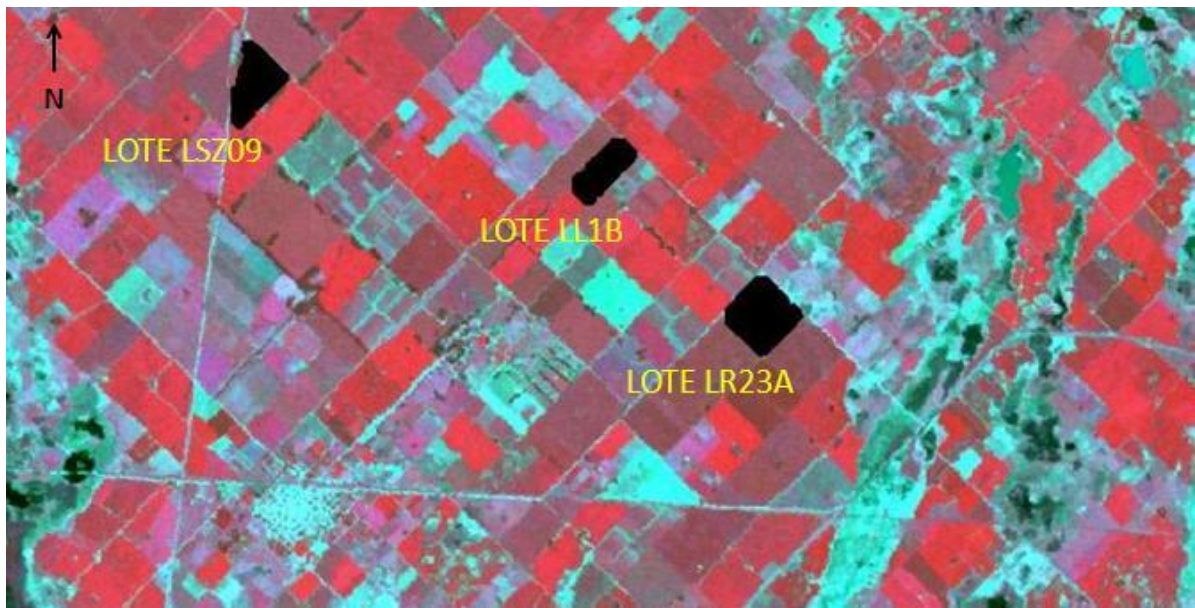
## 8. ANEXO.



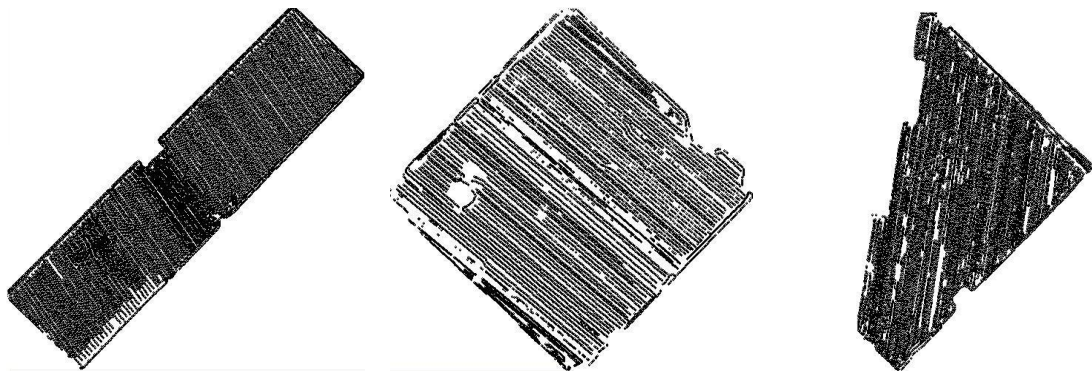
**Figura 11.** Zona de estudio. Localidad: Pasteur.



**Figura 12.** Establecimiento "Las Lilas". Carta de Suelo Serie Pasteur, Hoja 3563-23-2.



**Figura 13.** Imagen satelital fecha 25-01-2003. Recorte zona de interés y señalización de lotes a utilizar en los tratamientos.



**Figura 14.** Mapas de rendimiento campaña 2010. Lote LL1B (izq.), LR23A (centro) y LSZ09 (der.).

**Tabla 1.** Precipitaciones anuales período 1998-2010 en “Establecimiento Las Lilas”.

<b>Campaña</b>	<b>Precipitaciones Total</b>
1998-1999	411
1999-2000	959
2000-2001	1223
2001-2002	1323
2002-2003	1155
2003-2004	854
2004-2005	954
2005-2006	919
2006-2007	1338
2007-2008	995
2008-2009	664
2009-2010	1483
PROMEDIO	1023,2

## 8.1. CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS LOTES EN ESTUDIO.

### Datos analíticos pertenecientes a las Series de Suelos.

#### SERIE LINCOLN (Ln)

Es un suelo profundo, oscuro y con aptitud agrícola, que se encuentra en un paisaje suavemente ondulado, ocupando los sitios de lomas de la Subregión Pampa Arenosa, con escaso a moderado desarrollo, habiendo evolucionado sobre un sedimento eólico franco arenoso, no alcalino, no salino con pendiente predominante de 0-1 %.

**Clasificación taxonómica:** Hapludol Típico, Franca gruesa, mixta, térmica (USDA- Soil Taxonomy V. 2006).

**Descripción del perfil típico:** N° 16/979 C. Fecha de extracción muestras, noviembre de 1966.

<b>A</b>	0-30 cm; negro (10YR 2/1) en húmedo; franco arenoso; bloques subangulares medios, moderados que rompe en bloques subangulares finos y granular; friable; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; abundantes raíces; límite claro y suave.
<b>Bw</b>	30-70 cm; pardo oscuro (7,5YR 3/2) en húmedo; franco arenoso; bloques subangulares gruesos y medios moderados que rompe en bloques subangulares medios y finos; friable; ligeramente plástico; no adhesivo; escasos barnices húmico arcilloso; raíces abundantes; límite claro y suave.
<b>BC</b>	70-109 cm; pardo (7,5YR 4/4) en húmedo; franco arenoso; bloques subangulares medios, débiles que rompe en bloques subangulares finos y grano simple; muy friable; ligeramente plástico, no adhesivo; moteados de hierro moderados, gruesos y precisos; raíces comunes; límite claro y suave.
<b>C</b>	109-130 cm; pardo (7,5YR 4/4) en húmedo; franco arenoso; bloques subangulares gruesos y medios, débiles que rompe en bloques subangulares menores y grano simple; muy friable; ligeramente plástico; no adhesivo; moteados de hierro comunes, gruesos y precisos; raíces comunes.

**Ubicación del Perfil:** Latitud: S 34° 32' 38". Longitud: W 61° 25' 16". Altitud: 84,5 m.s.n.m. a 3 km. al sudoeste de la localidad de L. N. Alem; partido homónimo, provincia de Buenos Aires; fotomosaico 3560-7-3, L. N. Alem.

**Variabilidad de las características:** El epipedón mólico (A), varía entre 30-35 cm; franco a franco arcillo arenoso; negro a pardo oscuro (10YR 1,7/1 y 10YR 3/2) en húmedo (SSCC-229); menor espesor; Bw, franco arcillo arenoso (Rel. arc. B/A=1.1); El BC, entre 30 y 40 cm. de espesor; solum 70-120 cm. de profundidad.

**Fases:** Drenaje, pendiente, anegabilidad y depresión.

**Series similares:** Junín, Fortín Tiburcio, Santa Isabel, Teodelina.

**Suelos asociados:** Alem, Ortiz de Rosas, Teodelina, Saforcada, Morse, La Oriental, Vedia, El Recuerdo, Nueve de Julio, Norumbega.

**Distribución geográfica:** Partidos de L. N. Alem y Junín.

**Drenaje y permeabilidad:** Bien a algo excesivamente drenado con un escurrimiento medio a rápido, permeabilidad moderadamente rápida. Nivel freático profundo.

**Uso y vegetación:** Campo arado.

**Capacidad de uso:** II s

**Limitaciones de uso:** Retención de humedad.

**Índice de productividad según la región climática:** 64,8 (B)

**Rasgos diagnósticos:** Epipedón mólico (30 cm.), régimen de humedad údico, horizonte cámbico (rel. arc. B/A = 1,17).

Datos Analíticos:

Horizontes	A	Bw	BC	C
Profundidad (cm)	5-25	35-65	75-105	110-130
Mat. orgánica (%)	2,22	0,63	0,31	0,15
Carbono total (%)	1,29	0,37	0,18	0,09
Nitrógeno (%)	0,115	0,054	NA	NA
Relación C/N	11,2	6,8	NA	NA
Arcilla < 2 µ (%)	12,1	14,1	8,4	10,4
Limo 2-20 µ (%)	10,0	9,7	11,8	7,4
Limo 2-50 µ (%)	19,0	15,2	19,5	15,2
AMF 50-75 µ (%)	10,8	13,2	10,4	11,7
AMF 75-100 µ (%)	29,1	22,3	36,8	25,2
AMF 50-100 µ (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
AF 100-250 µ (%)	25,9	32,5	22,7	34,7
AM 250-500 µ (%)	2,4	2,7	2,2	2,8
AG 500-1000 µ (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
AMG 1-2 mm (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
Calcáreo (%)	0,0	0,0	0,0	0,0
Eq.humedad (%)	13,7	13,4	12,7	11,3
Re. pasta Ohms	NA	NA	NA	NA
Cond. mmhos/cm	NA	NA	NA	NA
pH en pasta	5,9	6,5	6,7	7,3
pH H <sub>2</sub> O 1:2,5	6,3	6,8	7,0	7,6
pH KCL 1:2,5	5,5	5,3	5,4	6,0
<b>CATIONES DE CAMBIO</b>				
Ca++ m.eq./100gr	7,2	6,9	5,9	6,2
Mg++ m.eq./100gr	2,5	2,8	2,9	3,1
Na+ m.eq./100gr	0,1	0,1	0,2	0,2
K m.eq./100gr	1,0	1,0	1,2	0,9
H m.eq./100gr	4,9	2,9	2,4	2,9
Na (% de T)	0,8	0,9	0,3	1,9
V.S m.eq./100gr	10,8	10,8	10,2	10,4
CIC m.eq./100gr	12,2	11,7	0,7	10,5
Sat. con bases (%)	88	93	95	99
<b>NA: No analizado</b>				

## **SERIE CAÑADA SECA (CSe)**

Es un suelo pardo rojizo, profundo y con escaso desarrollo, de aptitud agrícola, se encuentra en un paisaje suavemente ondulado, en posición de loma extendida, en la "Subregión Pampa Arenosa", algo excesivamente drenado, formado sobre arenas finas de origen eólico, alcalinidad sódica desde los 95 cm. de profundidad, no salino, con pendientes de 0 a 1 %.

### **Clasificación taxonómica:**

Hapludol Típico, Franca Gruesa, mixta, térmica (USDA- S. Taxonomy V. 2010).  
Hapludol Tapto Árgico, Franca Gruesa, mixta, térmica(USDA 7ª Aproximación 1975).

**Descripción del perfil típico:** 14 C- Extracción de muestras: Junio de 1987.

<b>A</b>	0-25 cm; pardo rojizo oscuro (5YR 2/2) en húmedo; franco arenoso; bloques subangulares medios, moderados que rompe a granular; friable; raíces abundantes; límite inferior gradual, suave.
<b>ACn</b>	25-39 cm; gris rojizo oscuro (5YR 4/2) en húmedo; franco arenoso; bloques subangulares y angulares medios moderados que rompe a bloques menores; muy friable; límite inferior abrupto, suave.
<b>Bwn</b>	39-60 cm; pardo rojizo (5YR 4/3) en húmedo; franco arenoso; prismas regulares medios; firme; clayskins escasos; moteados comunes, finos y precisos; límite inferior claro, suave.
<b>BCn</b>	60-95cm; pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo; franco arenoso; bloques angulares gruesos, fuertes que rompe a bloques angulares medios; firme; concreciones de Carbonatos de Calcio escasas; moteados abundantes medios y precisos; ligeramente cementado; limite inferior claro, suave.
<b>BCnx</b>	95-138cm; franco; masivo; extremadamente firme; concreciones Carbonato de Calcio abundantes y de Hierro escasas; moteados abundantes medios y precisos; cementado.

**Observaciones:** Texturas muy arenosas con más del 60% de fracción arena.

**Ubicación del Perfil:** Latitud S: 34° 44' 20"; longitud O: 62° 34' 12". Altitud 106 m.s.n.m. A 11,5 km. al sudoeste de la localidad de Saboya, partido de General Villegas, provincia de Buenos Aires. Mosaico I.G.M. 3563-10-4, Colonia Basavilbaso.

**Variabilidad de las características:** El Bw puede presentar variaciones en el contenido de arcilla.

**Fases:** Se reconocieron fases por drenaje.

**Series similares:** Lincoln, Carlos Tejedor, Estación Naón.

**Suelos asociados:** Pichincha, Balbín, Lincoln, Santa Ana, Carlos Tejedor.

**Distribución geográfica:** Partidos de General Villegas, General Pinto, Ameghino, Rivadavia, Carlos Tejedor, norte de Trenque Lauquén, norte de Pehuajó, este de Lincoln; en las cartas I.G.M. 3563-9, 10, 11, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 27, 28, 29, 30 y 33.

**Drenaje y permeabilidad:** Algo excesivamente drenado, escurrimiento medio, permeabilidad moderada, profundidad de la capa freática mayor a 100 cm.

**Uso y vegetación:** Agrícola.

**Capacidad de uso:** IV s

**Limitaciones de uso:** Baja retención de humedad y escasa Capacidad de Intercambio Catiónico (bajo CIC).

**Índice de productividad según la región climática:** 52,6 (B)

**Rasgos diagnósticos:** Epipedón mólico, régimen de humedad údico, escaso desarrollo genético (horizonte cámbico Bw).

Datos Analíticos:

Horizontes	A	ACn	Bwn	BCn	BCnx
Profundidad (cm)	5-20	27-36	43-57	65-90	100-130
Mat. orgánica (%)	1,93	0,38	0,45	0,17	0,27
Carbono total (%)	1,12	0,22	0,26	0,10	0,16
Nitrógeno (%)	0,102	NA	NA	NA	NA
Relación C/N	10,9	NA	NA	NA	NA
Fósforo (ppm)	3,5	1,7	3,0	5,7	3,6
Arcilla < 2 µ (%)	14,5	9,2	17,5	15,1	20,9
Limo 2-20 µ (%)	8,3	8,5	6,3	7,8	13,9
Limo 2-50 µ (%)	20,7	18,4	14,2	15,5	31,1
AMF 50-75 µ (%)	6,7	7,3	7,4	7,1	6,8
AMF 75-100 µ (%)	23,5	21,7	21,2	20,7	18,1
AMF 50-100 µ (%)	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
AF 100-250 µ (%)	32,2	40,8	37,5	39,7	20,6
AM 250-500 µ (%)	1,8	2,1	1,7	1,6	9,7
AG 500-1000 µ (%)	0,6	0,5	0,5	0,3	NA
AMG 1-2 mm (%)	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Calcáreo (%)	NA	NA	NA	NA	0,8
Eq.humedad (%)	14,9	10,1	16,4	15,2	23,9
Re. pasta Ohms	NA	NA	NA	NA	NA
Cond. mmhos/cm	NA	NA	NA	NA	NA
pH en pasta	6,1	7,0	7,2	7,7	8,3
pH H <sub>2</sub> O 1:2,5	6,7	7,6	8,0	8,4	9,2
pH KCL 1:2,5	5,1	5,5	5,8	6,3	6,6
CATIONES DE CAMBIO					
Ca++ m.eq./100gr	5,0	2,4	4,0	5,4	NA
Mg++ m.eq./100gr	1,5	2,5	5,4	5,4	NA
Na+ m.eq./100gr	0,3	0,3	0,7	0,9	6,8
K m.eq./100gr	1,3	0,9	1,4	1,9	3,8
H m.eq./100gr	4,6	1,5	2,0	S/D	S/D
Na (% de T)	2,8	4,6	5,7	7,6	30,0
Suma de Bases	8,1	6,1	11,5	13,6	S/D
CIC m.eq./100gr	10,6	6,4	12,2	11,8	22,2
Sat. con bases (%)	76	95	94	100	S/D
NA: No analizado S/D: Sin datos					

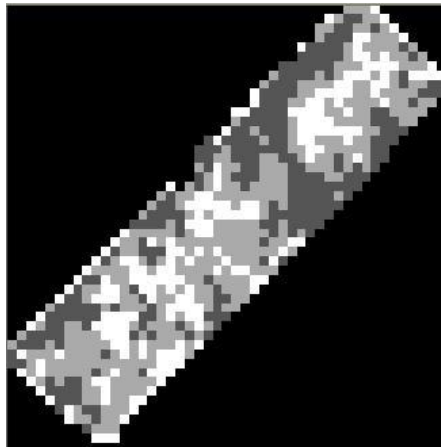
Datos analíticos Perfil Serie Ameghino.

Nº registro		32142	32143	32144
Horizonte		A1	AC	C
Profundidad		10-26	41-69	79-135
C %		0.77	0.3	0.06
N %		0.09	0.043	%
C/N		8.5	7.0	
Textura	Arcilla < 2 µ	13.1	13.5	11.7
	Limo 2-20 µ, %	4.7	1.5	6.5
	Limo 2-50 µ, %	9.3	8.5	8.2
	Arena muy fina 50-100 µ, %	24.5	29.7	28.7
	Arena fina 100-250 µ, %	47.0	45.1	47.3
	Arena media 250-500 µ, %	5.8	3.0	3.8
	Arena gruesa 500-1000 µ, %	0.3	0.2	0.3
	Arena muy gruesa 1-2 mm, %	%	%	%
	Arena total, %	%	%	%
Gravas	%	%	%	
Ca CO <sub>3</sub> %		%	%	%
Equiv. de humedad		19.3	14.8	13.8
Capacidad de agua	18 atm	%	%	%
	16 atm	%	%	%
	Agua útil	%	%	%
pH en p.a.c.b.		6.0	6.1	6.5
pH en H <sub>2</sub> O (1:2,5)		6.3	6.5	7.1
pH en KCl (1:2,5)		5.2	5.2	5.5
Resistencia p.a.c.b.		8881.0	14022.0	12620.0
Conductividad eléctrica, mmhos/cm		mmhos/cm	mmhos/cm	mmhos/cm
Bases intercambiables, m.e./100g	Ca <sup>++</sup>	5.2	4.5	3.8
	Mg <sup>++</sup>	2.4	2.0	2.5
	K <sup>+</sup>	1.4	0.9	0.9
	Na <sup>+</sup>	0.3	0.3	0.4
Suma de bases, m.e./100g (Valor S)		9.3	7.7	7.6
H <sup>+</sup> de cambio		3.8	2.6	2.2
Capacidad de intercambio catiónico, m.e./100g (Valor T)		8.0	7.2	6.4
Satur. (sobre T)		100.0	100.0	100.0
Saturación con bases, % (S/T)		%	%	%
Densidad aparente				

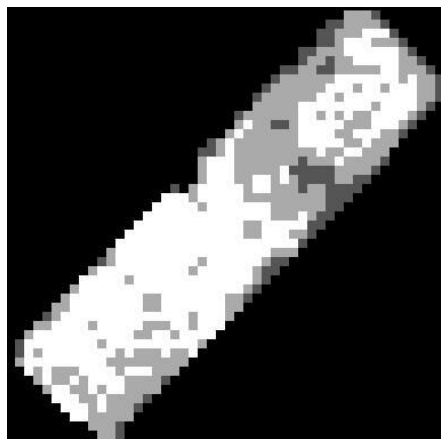


## 8.2. IMÁGENES CLASIFICADAS (NDVI/MAPAS) Y COINCIDENCIAS.

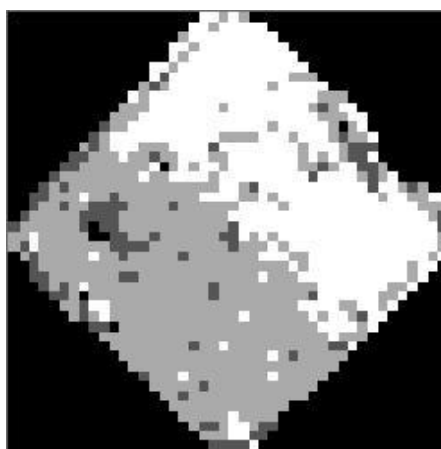
REFERENCIA COLORES: BLANCO (ALTO), GRIS CLARO (MEDIO), GRIS OSCURO (BAJO).



**Figura 15.** Mapa de rendimiento clasificado en 3 clases. Lote LL1B.



**Figura 16.** NDVI SAR/TS clasificado en 3 clases. Lote LL1B.



**Figura 17.** Mapa de rendimiento clasificado en 3 clases. Lote LR23A.



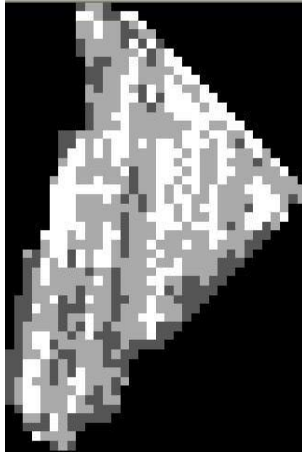
**Figura 18.** NDVI SAR clasificado en 3 clases. Lote LR23A.



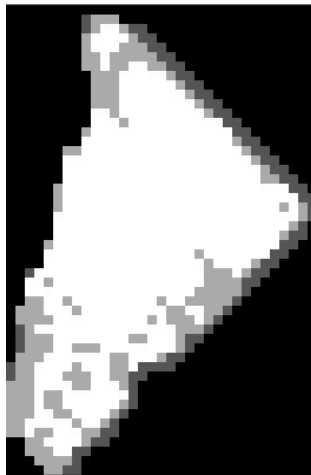
**Figura 19.** NDVI SBR clasificado en 3 clases. Lote LR23A.



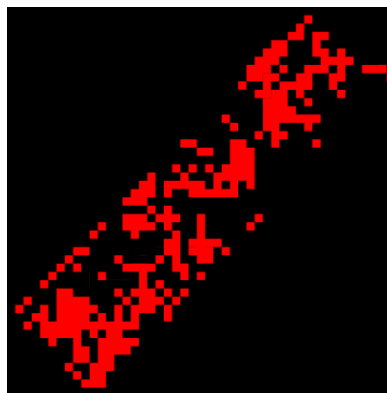
**Figura 20.** NDVI TS clasificado en 3 clases. Lote LR23A.



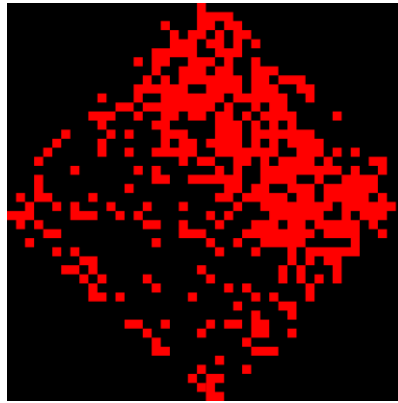
**Figura 21.** Mapa de rendimiento clasificado en 3 clases. Lote LSZ09.



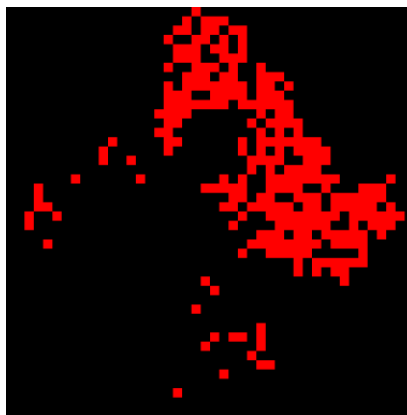
**Figura 22.** NDVI SAR/TS clasificado en 3 clases. Lote LSZ09.



**Figura 23.** Coincidencias SAR y TS Lote LL1B.



**Figura 24.** Coincidencias SBR Lote LR23A.



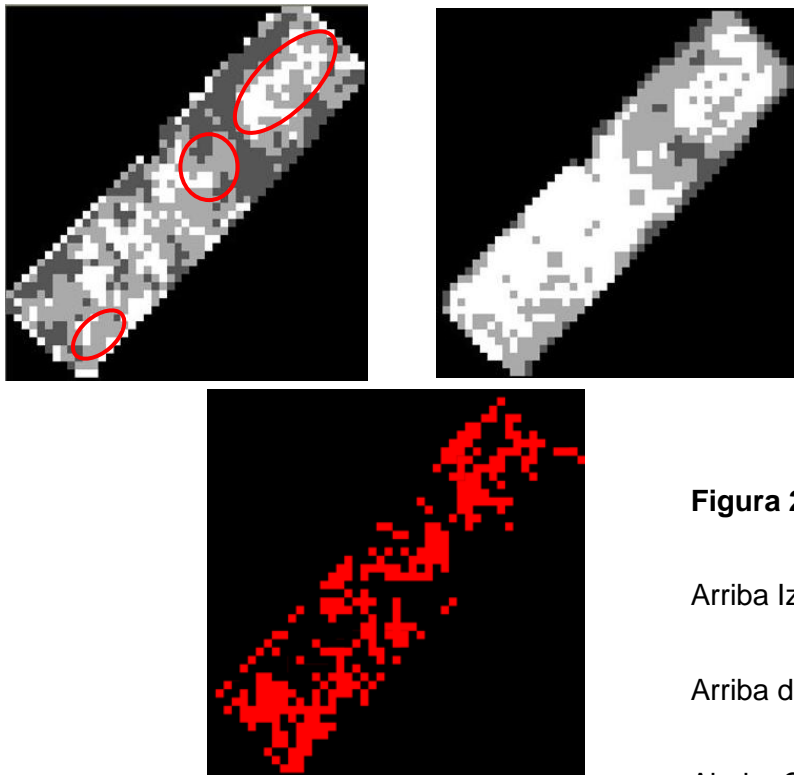
**Figura 25.** Coincidencias SAR Lote LR23A.



**Figura 26.** Coincidencias TS Lote LR23A.



**Figura 27.** Coincidencias SAR y TS Lote LSZ09.

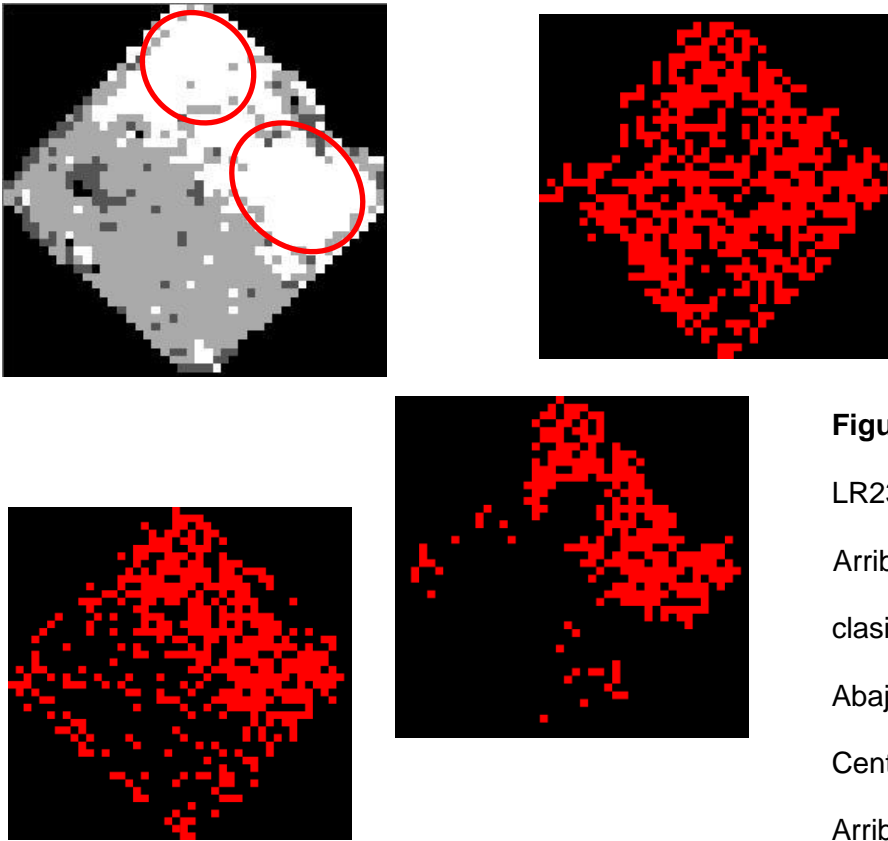


**Figura 28.** Zonas de coincidencias. Lote LL1B.

Arriba Izq: Mapa de rendimiento clasificado.

Arriba der: NDVI SAR/TS clasificado.

Abajo: Coincidencia total de píxeles.



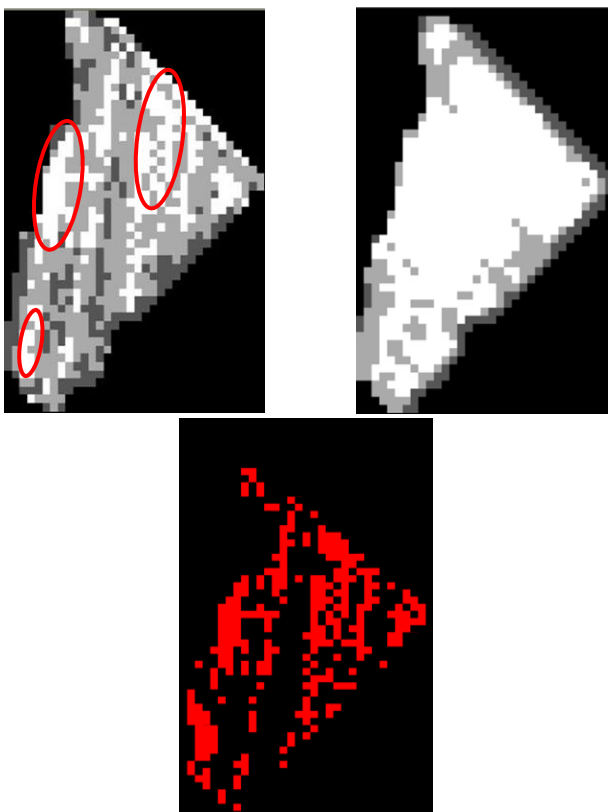
**Figura 29.** Zonas de coincidencias. Lote LR23A.

Arriba izq: Mapa de rendimiento clasificado.

Abajo izq: Coincidencia de píxeles SBR.

Centro: Coincidencia de píxeles SAR.

Arriba der: Coincidencia de píxeles TS.



**Figura 30.** Zonas de coincidencias. Lote LSZ09.

Arriba izq: Mapa de rendimiento clasificado.

Arriba der: NDVI SAR/TS clasificado.

Abajo: Coincidencia total de píxeles.