





# “Definición de ambientes mediante herramientas de detección remota”

**Autor: Battistoni, Jeremías**

## Agradecimientos:

---

A mi familia toda, por su constante e incondicional apoyo, amor y felicidad.

## Resumen

---

El presente trabajo final de graduación es realizado como un proyecto de aplicación profesional, con el objetivo de proponer un manejo más racional de los recursos para el establecimiento “Los Médanos”, ubicado en Catrilo, provincia de La Pampa. El proyecto se basa en la identificación de ambientes de trabajo diferenciales en base a interpretación de herramientas de detección remota. En el cuerpo del mismo, se establecen los factores tenidos en cuenta para la detección de ambientes y metodología utilizada. El trabajo propone un manejo diferencial basado en la información y racionalización, pasando de un sistema de aplicación homogénea de recursos a un manejo acorde a las limitantes intrínsecas, dejando de lado el manejo tradicional por lote.

## Abstract

---

This graduation paper has been carried out as a professional implementation project and its main objective is to propose a more rational use of resources for “Los Médanos” farm, located in Catrilo, La Pampa, Argentina. The project is based on identifying work environments with similar potential performance through the use of remote sensing tools and satellite images interpretation. The factors considered for the identification of the abovementioned environments and the methodology used are fully described throughout the development of this paper. It is also proposed a special management based on information and process rationalization in order to shift from a homogeneous application system of resources to a management according to the inner limitations of each environment, stepping aside from the traditional field management.

# Índice

---

Agradecimientos:.....	4
Resumen .....	5
Abstract.....	5
Índice de gráficos.....	10
Índice de tablas.....	11
Capítulo I.....	12
Planteamiento del problema .....	12
Introducción:.....	13
Antecedentes:.....	14
Planteamiento del problema .....	15
Objetivos:.....	16
Objetivo General:.....	16
Objetivos Específicos: .....	16
Capítulo II.....	17
Marco teórico: .....	17
Generalidades:.....	18
Agricultura de precisión:.....	18
Difusión:.....	19
Beneficios.....	19
Adopción:.....	20
Definición de ambientes.....	20
Variabilidad:.....	21
Ambientes de manejo:.....	21
Capacidad de uso del suelo .....	22
Prácticas:.....	22
Sistemas de Información Geográfica (SIG) .....	23
Georreferenciación .....	24
Teledetección de ambientes.....	24
Difusión:.....	24
Pasos de la Precepción Remota:.....	25
Imágenes satelitales .....	25

El espectro electromagnético .....	26
Aplicación de las distintas longitudes de onda .....	27
Firmas espectrales .....	28
Plataformas satelitales .....	28
Tipos de sensores remotos .....	28
Características de los sensores .....	29
Sensores Landsat .....	30
Landsat 5:.....	31
Interpretación de imágenes: .....	32
Uso de los datos de percepción remota .....	32
Índices de vegetación .....	33
Modelos de elevación digital .....	34
Análisis de impacto económico .....	34
Caracterización del establecimiento .....	36
Caracterización de la zona: .....	36
Caracterización edáfica y climática:.....	37
Heladas: .....	37
Evapotranspiración:.....	37
Suelo: .....	37
Precipitaciones:.....	38
Uso general de la tierra y sistemas productivos:.....	38
Establecimiento “Los Médanos”:.....	39
Reseña histórica:.....	39
Reseña histórica sobre el manejo productivo del campo: .....	39
Agricultura: .....	39
Ganadería: .....	40
Imagen satelital del establecimiento:.....	41
Descripción de imagen satelital:.....	42
Análisis FODA.....	42
Análisis externo.....	42
Análisis Interno .....	43
Conclusión del análisis FODA:.....	43
Capítulo III.....	45
Metodología: .....	45
Generalidades:.....	46
Resumen rápido:.....	46
Caracterización del establecimiento .....	46

Recopilación de datos.....	46
Análisis de datos .....	47
Recopilación de datos.....	48
Análisis de datos .....	48
Fuentes de información complementaria .....	50
Recopilación de datos.....	50
Análisis de datos .....	50
Definición de ambientes de trabajo .....	51
Recopilación de datos.....	51
Análisis de datos .....	51
Cuantificar el beneficio económico .....	52
Capítulo IV.....	54
Desarrollo .....	54
Generalidades.....	55
Acondicionamiento de imágenes: .....	55
Determinación de tipo de imágenes a utilizar:.....	55
Fechas de imágenes:.....	55
Codificación: .....	57
Composición de imágenes multiespectrales y recorte.....	58
Georreferenciación .....	58
Delimitación de lotes: .....	58
Acondicionamiento de lotes .....	59
Eliminación del efecto bordura .....	61
Extracción de datos NDVI .....	62
Análisis por lote: .....	63
Datos relativos por lote: .....	63
NDVI relativo e histórico por lote: .....	64
Modelo de elevación digital .....	65
Mapa de pendientes.....	66
Definición de puntos de control .....	67
Determinación de ambientes de trabajo.....	68
Determinación de ambientes de trabajo.....	69
Ambientes dinámicos y ambientes fijos .....	70
Variabilidad en los lotes:.....	71
Rotación de cultivos:.....	71
Aplicación de la rotación propuesta a la nueva configuración de lotes: .....	72
Impacto económico: .....	73

Capitulo V.....	74
Conclusión .....	74
Conclusión: .....	75
Anexos .....	78
Bibliografía.....	80

## Índice de gráficos

---

Figura 2.1: Interacción Energía-Objeto .....	25
Figura 2.2: Espectro electromagnético.....	26
Figura 2.4: Tipos de sensores.....	28
Figura 2.5: Resolución espacial.....	28
Figura 2.6: Comparación espectral Aster-Landsat.....	29
Figura 2.8: Modelo de elevación digital.....	33
Figura 2.9: Localización, establecimiento “Los Médanos” .....	35
Figura 2.10: Caracterización edafo-climática, provincia de La Pampa.....	35
Figura 2.12: Establecimiento “Los Médanos”, imagen satelital .....	40
Figura 4.2: Imágenes Landsat 5.....	56
Figura 4.3: Lotes Originales.....	58
Figura 4.4: Lotes Artificiales.....	59
Figura 4.5: Lotes buffer.....	60
Figura 4.6: Mapas NDVI obtenidos de las imágenes Landsat.....	61
Figura 4.7: Comportamiento de lote 9 y promedio histórico.....	63
Figura 4.8: NDVI histórico, campo completo.....	64
Figura 4.9: Modelos de Elevación Digital.....	65
Figura 4.10: Mapa de pendientes.....	66
Figura 4.11: Zonas de control.....	67
Figura 4.12: Caracterización de ambientes.....	68
Figura 4.12: Ambientes de trabajo.....	69

## Índice de tablas

---

Tabla 2.1: Aplicaciones del sensor TM.....	27
Tabla 2.2: Características de la familia Landsat.....	30
Tabla 2.3: Participación relativa por cultivos en función del uso el suelo en La Pampa.....	37
Tabla 3.1: Guía para la clasificación de suelos según capacidad de uso.....	50
Tabla 4.1: Detalle Imágenes Landsat.....	55
Tabla 4.2: Rotación para ambientes buenos.....	70
Tabla 4.3: Rotación para ambientes regulares.....	71
Tabla 4.4: Esquema de rotaciones.....	71
Figura 5.1: Mapa de ambientes.....	74

# Capítulo I

## Planteamiento del problema

---

## Introducción:

---

En la actualidad el empresario rural se enfrenta a un nuevo paradigma productivo encabezado por el aumento de costos, la búsqueda de productos de calidad diferencial y una mayor conciencia ambiental. Esto suele traer aparejado un aumento de costos globales y una disminución del rendimiento efectivo, lo que lleva a la necesidad de un aumento similar en la productividad y eficiencia en el uso de recursos.

En este marco, el desarrollo y avance de la tecnología y los procesos, sumado a la accesibilidad a nuevas fuentes de información que apuntan a mejorar la eficiencia productiva en el sector agrario y una mayor conciencia en lo que refiere al cuidado del medio ambiente, ha conducido al surgimiento de la Agricultura de Precisión (AP) como una posible solución a dicha problemática.

A través de este trabajo se identificaran distintos ambientes de potencial de rendimiento a escala intralote, para luego poder desarrollar estrategias de usos de insumos y de manejo diferenciales brindando así herramientas para la racionalización del manejo en un establecimiento productivo de la zona de Catriló, provincia de La Pampa.

La problemática surge a partir de la alta variabilidad de los suelos en la zona, sumada a la baja productividad detectada en el establecimiento con respecto a rindes promedio para la zona. Si a esto se le suma la necesidad de hacer más eficiente el uso de recursos, el aumento de costos y la problemática ambiental, el manejo de la producción mediante ambientes de trabajo surge como una posible respuesta a esta problemática.

En lo que respecta a la definición de ambientes, se debe tener en cuenta que se trabajará con un establecimiento de baja escala, es aquí donde el costo de la investigación y la falta de información se vuelven una limitante. El mercado ofrece medios remotos que posibilitan la definición de ambientes con costos reducidos y bases de datos históricas. Del abanico de posibilidades, los índices de vegetación en base a imágenes satelitales han sido probados como una fuente de bajo costo y alta correspondencia con las limitantes a nivel suelo para la zonificación.

Es por esto que se decide realizar un análisis en base a herramientas de detección remota con el fin de definir ambientes de trabajo como primer paso para una futura aplicación de técnicas de AP en el establecimiento.

El manejo por ambientes será la base de la determinación del tipo de prácticas y sistema de rotaciones al que se someta el establecimiento. Al mismo tiempo surge como herramienta de apoyo a los procesos y administración de la empresa y tendrá un impacto en la rentabilidad mediante la racionalización en el uso de recursos. Complementariamente surge como fuente de información histórica que servirá de base para el control y la toma de decisiones.

## Antecedentes:

---

Puede definirse a la Agricultura de Precisión como la aplicación de tecnologías y principios para mejorar la variabilidad espacial y temporal asociada a aspectos de la producción agrícola, con el propósito de mejorar el rendimiento de los cultivos y la calidad ambiental.

El primer paso para la implementación de esta técnica, es la determinación de la variabilidad de los suelos y del rendimiento, así como su magnitud y la posibilidad de manejar el sistema mediante prácticas diferenciales o de sitio específico (subdivisión de lotes en áreas de trabajo) con el objetivos de mejorar la eficiencia en el uso de insumos, mejorar la sustentabilidad de la empresa, la protección del medio ambiente y generar un beneficio económico al productor.

Hoy en día, en la mayor parte de los establecimientos productivos se ignora la variabilidad del suelo en los lotes y se busca aplicar de manera uniforme los insumos. Con este enfoque existe posibilidad de sobre o subaplicar insumos en los lotes produciendo un costo innecesario y pudiéndose afectar la productividad y el medio ambiente.

La agricultura de precisión básicamente persigue 3 objetivos:

- Ser una fuente de información para la toma de decisiones.
- Aumentar la eficiencia en el uso de recursos.
- Aumentar productividad y rentabilidad.

Así, la producción moderna deberá basarse en el manejo de ambientes homogéneos de trabajo, dejando de lado la Agricultura Tradicional y la delimitación de lotes respetando alambrados para pasar a una utilización más racional de los recursos determinada por las características de los lotes y cuyos límites estarán establecidos mediante coordenadas.

La principal barrera de aplicación de agricultura de precisión son los costos, la necesidad de personal capacitado y el hecho de que esta tecnología suele impactar con mayor fuerza en los costos que en los ingresos, haciendo difícil para el productor identificar los beneficios.

El primer paso para la aplicación de AP es la definición de ambientes de trabajo, lo que suele ser, asimismo el primer escollo. Generalmente se basa en el análisis de información proveniente de monitores de rendimiento, tecnología que hoy no es accesible para todos los productores y cuando lo es, no suele contarse con la capacidad para la interpretación y manejo de los datos. Esto se hace aún más notorio en pequeños y medianos productores quienes ven a la agricultura de precisión como una buena práctica pero que se encuentra fuera de sus posibilidades.

Este primer paso, la definición de ambientes, puede lograrse mediante el uso de índices de vegetación obtenidos de imágenes satelitales que son de muy bajo costo y cuyos resultados han sido comprobados coincidentes con los monitores de rendimiento y estudios de limitantes en suelo.

## Planteamiento del problema

---

El siguiente trabajo pretende diferenciar ambientes de trabajo con características agronómicas homogéneas basándose en la utilización de herramientas de detección remota, como primer paso para la aplicación de técnicas de agricultura de precisión basadas en manejos diferenciales por ambiente. El proyecto se realizará sobre el establecimiento “Los Médanos” y surge a partir de la determinación de bajos rindes agropecuarios en función de parámetros zonales y la identificación de una alta variabilidad productiva a nivel lote. Asimismo se pretende generar información útil para la definición de futuras estrategias productivas y racionalización en el uso de los recursos, principalmente del factor suelo.

## Objetivos:

---

### Objetivo General:

---

- Identificar ambientes de similar potencial de rendimiento y definir zonas de manejo diferenciales en base a técnicas de teledetección para el establecimiento “Los Médanos”.

### Objetivos Específicos:

---

1. Relevar las características ambientales, geográficas, infraestructura disponible e historial de manejo del establecimiento.
2. Analizar e interpretar índices de vegetación obtenidos a partir de imágenes satelitales.
3. Identificar ambientes de trabajo en función de Modelos de Elevación Digital, cartas de suelo y otras fuentes de información disponible.
4. Definir ambientes de trabajo en base a la interpretación de la información obtenida.
5. Cuantificar el beneficio económico de la implementación de un sistema de manejo por ambientes.

## Capítulo II

### Marco teórico:

---

## Generalidades:

---

A continuación se presenta el marco teórico sobre el cual se basará el trabajo a desarrollar, este consta de los supuestos teóricos sobre los que se basará el estudio. Se relacionarán e integrarán los conceptos, variables e hipótesis construidas, con el fin de dar respuesta al problema planteado. (Scribano, 2002).

El siguiente trabajo de aplicación profesional pretende determinar ambientes de trabajo en base a herramientas de detección remota. La determinación de ambientes de similar potencial de rendimiento es el primer paso para la adopción de las nuevas tecnologías de procesos que afectan a la actividad agropecuaria moderna, estos procesos surgen del concepto de agricultura de precisión.

Adaptando estos conceptos a la realidad económica del establecimiento en estudio, se deberán entender las distintas herramientas presentadas a continuación. Del uso combinado dependerá la información generada en el siguiente trabajo.

## Agricultura de precisión:

---

El primer concepto al que se debe introducir para justificar el propósito del presente trabajo es el de Agricultura de Precisión, este se define como, la aplicación de tecnologías y principios para mejorar la variabilidad espacial y temporal asociada a aspectos de la producción agrícola, con el propósito de mejorar el rendimiento de los cultivos y la calidad ambiental (Gracia & Flego, 2011). De aquí en adelante el concepto podrá ser identificado por sus siglas AP.

El primer paso para la implementación de esta técnica es la determinación de la variabilidad de los suelos y del rendimiento, así como su magnitud y la posibilidad de manejar el sistema mediante prácticas diferenciales o de sitio específico (subdivisión de lotes en áreas de trabajo), con el objetivo de mejorar la eficiencia en el uso de insumos, mejorar la sustentabilidad de la empresa, la protección del medio ambiente y generar un beneficio económico al productor.

Hoy en día, en la mayor parte de los establecimientos productivos se ignora la variabilidad del suelo en los lotes y se busca aplicar de manera uniforme los insumos. Con este enfoque existe posibilidad de sobre o subaplicar insumos en los lotes produciendo un costo innecesario y pudiéndose afectar la productividad y el medio ambiente.

La agricultura de precisión básicamente persigue 3 objetivos:

- Ser una fuente de información para la toma de decisiones.
- Aumentar la eficiencia en el uso de recursos.
- Aumentar productividad y rentabilidad.

Así, la producción moderna deberá basarse en el manejo de ambientes homogéneos de trabajo, dejando de lado la Agricultura Tradicional y la delimitación de lotes respetando alambrados, para pasar a una utilización más racional de los recursos determinada por las características de los lotes y cuyos límites estarán establecidos mediante coordenadas.

Battistoni, Jeremías – Licenciatura en Administración Agraria

La principal barrera de aplicación de agricultura de precisión son los costos, la necesidad de personal capacitado y el hecho de que esta tecnología suele impactar con mayor fuerza en los costos que en los ingresos, haciendo difícil para el productor identificar los beneficios.

El primer paso para la aplicación de AP es la definición de ambientes de trabajo, lo que suele ser, asimismo el primer escollo. Generalmente se basa en análisis de información proveniente de monitores de rendimiento, tecnología que hoy no es accesible para todos los productores y cuando lo es, no suele contarse con la capacidad para la interpretación y manejo de los datos. Esto se hace aún más notorio en pequeños y medianos productores quienes ven a la agricultura de precisión como una buena práctica pero que se encuentra fuera de sus posibilidades (Bragachini, A., & Méndez, TECNOLOGÍA DE APLICACIÓN VARIABLE DE INSUMOS (VRT), 2000).

Este primer paso, la definición de ambientes, puede lograrse mediante el uso de índices de vegetación obtenidos de imágenes satelitales que son de muy bajo costo y cuyos resultados han sido comprobados coincidentes con los monitores de rendimiento y estudios de limitantes en suelo (Torroba & Menéndez, s.f.).

De esta forma mediante los análisis realizados en el presente trabajo se pretende definir ambientes de características homogéneas y diferenciables, delimitarlos y presentarlos al productor mediante procesos de bajo costo relativo. Generar información a partir de fuentes disponibles, de modo que éste pueda adaptar su sistema productivo a las condiciones intrínsecas del campo, acercándolo a los conceptos productivos de AP.

### Difusión:

Con la modernización de las prácticas agrícolas han surgido nuevos desafíos, principalmente respecto al concepto de sustentabilidad ambiental y económica de procesos de producción. En este sentido, a partir de la década del '70 con la automatización de la maquinaria agrícola y la posterior liberación del sistema de posicionamiento global ('90) fue posible el desarrollo de equipos inteligentes que permiten un manejo más localizado de las prácticas agrícolas, generando una mayor eficiencia en el uso de insumos, reduciendo el impacto ambiental y disminuyendo costos. A este conjunto de procesos y sistemas aplicados se los denomina Agricultura de Precisión (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2006).

La difusión de estas técnicas en Argentina comenzó a principios de 1996 impulsada por el INTA Manfredi con el "Proyecto Nacional de Agricultura de Precisión", el que 3 años más tarde alcanzaría nivel nacional. Asimismo los productores que han logrado implementar tecnologías de AP reconocen sus beneficios a largo plazo. (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2006).

### Beneficios

Los beneficios de esta técnica son variados y su magnitud dependerá de cada establecimiento en particular, de todas formas es común encontrar mejoras productivas totales en el orden del 10% sólo por mejoras en la eficiencia de uso de insumos y reducciones

en tiempos de trabajo (Bragachini, Méndez, & Scaramuzza, Agricultura de Precisión una realidad en el campo Argentino).

En general los beneficios pueden ser agrupados según:

- ✓ **Beneficios operativos:** equipos que facilitan la operación de maquinaria a campo.
- ✓ **Beneficios productivos:** las labores asistidas por equipos de precisión hacen más la producción y permiten aumentos en calidad de productos. Asimismo permite un mejor manejo de control de calidad y registro de datos post-actividad o en tiempo real.
- ✓ **Beneficios informativos:** la información generada por los distintos procesos y su correlación comparativa permite fundamentar la toma de decisiones sobre datos fehacientes. Mediante la incorporación de sistemas de información geográfica se mejora la comprensión de las relaciones y procesos, produciendo beneficios en la gestión empresarial, uso de insumos y documentación de actividades a través de herramientas de registro electrónico. (Gracia & Flego, 2011).

## Adopción:

Para la adopción de AP no existe una formula única, para realizar una gestión agrícola de precisión se deberán tener en cuenta las características de cada establecimiento productivo, así como su realidad económica y posibilidades de instrumentación de procesos y tecnologías con el fin de implementar soluciones que se complementen con las estrategias de cada empresa.

Se deberá tener en cuenta que:

- La información solo tendrá relevancia en la medida en que se combine con decisiones administrativas.
- AP involucra un proceso de toma de decisión, involucrando el factor temporal y espacial que requiere constante recolección de información y control.
- La determinación de ambientes es una tarea dificultosa y dinámica debido a la variedad de factores que afectan el rendimiento (Proietti, 2003).

El proyecto requerirá la incorporación de tecnologías de procesos y deberán ser implementados planes de trabajo que se configuren en relación a los objetivos y posibilidades (económicas, de personal e infraestructura) de la empresa. La incorporación se llevará adelante cumpliendo pasos que se deberán adaptar a esta realidad.

## Definición de ambientes

Para acercarse al concepto de Definición de Ambientes primero debe entenderse que la producción agropecuaria está sujeta a la variabilidad de sus factores, esta variabilidad tiene un componente espacial y uno temporal.

## Variabilidad:

Comenzaremos por definir el concepto de variabilidad:

- **Variabilidad:** capacidad de variar. También puede definirse como el desarrollar o poseer distintos valores cualitativos o cuantitativos de una unidad.

Así, las variables en estudio podrán ser,

1. **Variables cualitativas:** aquellas variables de clase, tipo o forma. Como puede ser el tipo de suelo.
2. **Variables cuantitativas:** aquellas continuas y numéricas, como ser el contenido de materia orgánica en suelo, niveles de nutrientes, etc.

“Las variables continuas pueden ser transformadas en discretas a través de la clasificación o categorización de los valores numéricos” (Ciampagna, 2011).

Y con respecto a sus dimensiones, se presentarán en forma de,

1. **Variabilidad espacial:** *“Expresa las diferencias de producción en un mismo campo, en una misma campaña y cosecha”.*
2. **Variabilidad temporal:** *“Expresa los cambios de producción en un mismo campo, en distintas campañas de cosecha”*

Continuando con esta distinción, la causa de la variabilidad en lo respecta a rendimientos, puede clasificarse según sea: **natural**, **inducida** o bien la suma de **ambas** (Ciampagna, 2011).

## Ambientes de manejo:

Entendiendo la variabilidad a la que están sujetos los lotes, se pueden definir los ambientes de manejo o trabajo como "sub regiones dentro de los lotes que expresan una combinación relativamente homogénea de factores del rendimiento para los que es apropiada una única proporción de insumos específicos" (Doerge, 1999).

Si bien todo ambiente es dinámico y se ve afectado por distintos factores, entre ellos el tipo de manejo, al momento de definirlos se deberá tener en cuenta la magnitud de estas variaciones. La multiplicidad de factores que afectan el rendimiento de los cultivos, así como las distintas formas en que estos responden dichas condiciones, llevan a la necesidad de tener en cuenta los conceptos de ambientes fijos y dinámicos.

- **Ambientes fijos:** se considerarán fijos a los ambientes en que los rendimientos presentan rendimientos más homogéneos a través de las distintas campañas, si bien los límites de este concepto no son claros, su importancia recae al contrastarse con la definición de ambiente dinámico.
- **Ambientes dinámicos:** serán aquellos ambientes en los que los rendimientos varían en forma muy pronunciada dependiendo de las campañas, en ellos se encuadran, por ejemplo, los bajos inundables, los que en condiciones de baja precipitación presentan mayores rendimientos pero que en campañas

húmedas no presentan aptitud agrícola (Nosetto & Jobbágy, Ambientación y aplicación variable de insumos en áreas con influencia freáticaAutores).

La determinación de ambientes de trabajo dentro de cada lote o la configuración de nuevos lotes, dependerá entonces de características ambientales, establecidas a partir de información georeferenciada. Esta información puede provenir de distintas fuentes que deberán ser evaluadas por su disponibilidad, practicidad y costos.

Las fuentes de información para la definición de ambientes se pueden dividir en dos grandes categorías:

- **Fuentes de información derivadas de procesos in situ:** como mapas de rendimiento, muestreos de propiedades químicas y físicas de los suelos, análisis de electroconductividad mediante el uso de rastras, generación de planos de altimetría, etc.
- **Fuentes de información remota:** imágenes satelitales, mapas de índice de vegetación, cartas de suelo, modelos de elevación digital, etc.

### Capacidad de uso del suelo

Una vez definidos los límites de cada ambiente, estos pueden ser clasificados en base a un análisis de “Capacidad de uso del suelo” tomando como referencia las “Normas y Principios del Servicio de Conservación de Suelos en los Estados Unidos de América”, basado en patrones edáficos y toposiográficos existentes en cada área (Stolpe, Clasificaciones interactivas, 2012).

De acuerdo a estas normas, se asigna a cada zona una clase entre I a VIII de acuerdo a su capacidad de uso agronómico. Estas clases a su vez pueden presentar subclases que denotan el problema dominante presente en el suelo.

Clases:

- Arables: I a IV
- No arables: V a VIII

Subclases:

- **e** = involucra todos los riesgos de erosión o erosión pasada, fenómenos de escurrimiento superficial, pendientes excesivas del suelo.
- **w** = Considera problemas de sobresaturación del suelo, de drenaje o inundación.
- **s** = Refiere a todas las limitantes del suelo (profundidad, texturas extremas, pedregosidad, salinidad, etc.).

En el anexo 1 se presenta la guía de clasificación de suelos obtenida del informe de Stolpe y en base a la cual se confeccionó la guía de relevamiento utilizada en el presente trabajo, ésta fue adaptada a los requerimientos y características del establecimiento.

### Prácticas:

En lo que refiere a prácticas de manejo a aplicar dentro cada ambiente, las especificaciones exceden los objetivos de este trabajo. De todas formas, vale aclarar que para

Battistoni, Jeremías – Licenciatura en Administración Agraria

cada ambiente las prácticas se verán diferenciadas por sus **objetivos**, así como también por su **naturaleza, carácter y frecuencia** de aplicación (Luque, Manejo de Suelos (Apuntes de Clase), 2004).

Los objetivos tenderán fundamentalmente a:

- a- El control de la erosión.
- b- El mantenimiento o mejoramiento de la productividad.
- c- El manejo del agua.

La naturaleza será:

- a- Vegetativa: pasturas, pastoreo diferenciado, rotación de cultivos.
- b- Cultural: tipos de labranza, cincelado, etc.
- c- Estructural: canales de drenaje, cortinas, etc.

El carácter de las prácticas será: a) esencial, b) conveniente o c) necesaria.

Y la frecuencia podrá ser:

- a- Anual: cultivo en contorno, fertilización, etc.
- b- Permanente: canales de drenaje, terrazas, cortinas, etc.

## Sistemas de Información Geográfica (SIG)

---

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS por sus siglas en inglés) son una integración organizada de *hardware*, *software* y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar información geográficamente referenciada con el objetivo de resolver problemas de planificación y gestión geográfica. Son modelos de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer necesidades concretas (Lantada Zarzosa & Núñez Andrés, 2002).

Los datos obtenidos a partir de las distintas fuentes deberán ser gestionados e integrados a un sistema de información geográfica (SIG) con el objetivo de generar información útil para la toma de decisiones por parte de los administradores del establecimiento.

Estos SIG deberán permitir:

- ✓ La integración y gestión de la información.
- ✓ Mantenimiento de historiales de gestión de lotes.
- ✓ Análisis comparativos de la información.
- ✓ Caracterización de ambientes.
- ✓ Generación de mapas de rentabilidad (Gestión de Precisión Agrícola, s.f.).

Para este trabajo y teniendo en cuenta la realidad de la empresa sobre la que se trabajó, se ha optado por realizar, como primer paso para una futura implementación de prácticas de Agricultura de Precisión, la definición de ambientes de trabajo mediante el uso de fuentes de información remota, utilizando procesos de teledetección de ambientes en base a imágenes satelitales, complementado con datos recogidos a campo y en entrevistas que luego fueron integrados a un SIG.

## Georreferenciación

Georreferenciación, refiere al posicionamiento con el que se define la localización de un objeto espacial (representado mediante punto, vector, área, volumen) en un sistema de coordenadas determinado. Teniendo esto en cuenta, toda la información que se ingrese al SIG deberá estar georreferenciada, permitiendo así la comparación y correcto análisis de datos (Monge Garro & Arce Bogantes, 2012).

## Teledetección de ambientes

---

Se puede definir a la teledetección como “... la ciencia que engloba al conjunto de los conocimientos y técnicas utilizados para la obtención de información de objetos o fenómenos a distancia, sin entrar en contacto directo con ellos. No sólo trata de los procesos de adquisición de información, sino también de su posterior análisis desde una perspectiva de aplicación en particular” (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2004).

Es el proceso por el cual se obtiene información sobre un objeto a través de un flujo energético entre este y un sensor, pero sin estar en contacto directo (Araya Morales, 2009).

En general, la Percepción Remota se define como “un grupo de técnicas para recolectar información sobre un objeto o área sin tener que estar en contacto físico con el objeto o área” (Proyecto Agricultura de Precisión INTA Manfredi, 2011).

### Difusión:

El uso de imágenes obtenidas a partir de satélites de teledetección brinda una perspectiva muy particular de la Tierra, los recursos y el impacto que el ser humano causa sobre ella. La teledetección ha demostrado ser una fuente rentable de valiosa información para distintas aplicaciones entre las cuales encontramos el cuidado del medio ambiente y la gestión de cultivos (SRGIS Geología y Geomática Ltda., 2005).

Las posibilidades y el valor del uso de las imágenes satelitales continúan en aumento a medida que avanza la tecnología y se encuentran nuevas aplicaciones al abanico de posibilidades que éstas ofrecen. Hoy en día se dispone de imágenes en una cantidad creciente de tamaños de escena, resolución espectral, detalles espaciales y frecuencia de paso.

El valor de las imágenes satelitales se encuentra en que ofrecen una visión más global de los objetos en estudio, con un detalle creciente y que facilitan la determinación de relaciones entre los objetos y el ambiente que de otra forma no sería posible o sería muy dificultoso de obtener.

Según estudios realizados por AACREA “El análisis de imágenes satelitales es uno de los métodos más utilizados para delimitar ambientes o zonas de diferente productividad a escala de lote de producción. Para esto, se utiliza generalmente el índice verde normalizado (IVN) construido a partir de la reflectancia en las bandas correspondientes al rojo y al infrarrojo cercano. Los resultados obtenidos a partir de esta metodología son generalmente satisfactorios.” Hoy en día el desarrollo de software especializados, la disponibilidad de

imágenes satelitales y tecnología hacen que el manejo por ambientes esté al alcance del productor.

Toda observación que se realice sobre un cultivo puede ser denominada como detección remota, por ejemplo al observar el color y forma de las hojas se puede deducir si un cultivo se encuentra bajo estrés hídrico o deficiencia nutricional, asimismo el productor puede detectar zonas más o menos productivas dentro de un lote a medida que se desarrollan las plantas. Mediante la teledetección y uso de imágenes satelitales estos mismos datos pueden ser analizados y cuantificados con el fin de definir áreas homogéneas.

A lo largo de los años, la teledetección ha ganado interés por su potencial aplicación en prácticas de Agricultura de Precisión. La interpretación y toma de decisiones en base a productos de imágenes satelitales es aún complicado, sobre todo si esta información no se encuentra apropiadamente sistematizada.

### Pasos de la Percepción Remota:

Los datos a utilizar en los SIG deben ser procesados siguiendo una serie de pasos generales que son comunes a la mayoría de las estrategias de uso de esta técnica, según el informe sobre Percepción Remota presentado por la Red de Agricultura de Precisión del INTA Manfredi, estos pasos son:

1. Recoger datos de percepción remota.
2. Procesar datos e imágenes.
3. Examinar y analizar cuidadosamente los datos estadísticos
4. Comprobaciones en el terreno de los datos percibidos remotamente.
5. Incorporar a un SIG los datos de la percepción terrestre y de las comprobaciones en el terreno a un sistema de información georeferenciada.
6. Relación Causa-Efecto: identificar relaciones causa efecto entre las variables medidas y la condición del cultivo.
7. Tratar los lotes en base a la información generada.

## Imágenes satelitales

El principal concepto que se debe comprender a la hora de realizar trabajos de teledetección es qué son las imágenes satelitales y cómo se captan.

Del mismo modo que una cámara digital capta una fotografía, los sensores satelitales cuentan con miles de diminutos detectores que miden la cantidad de radiación reflejada por los objetos cuando el sol impacta sobre ellos, esta radiación es en sí energía y sus mediciones se denominan espectrales. Cada valor de refractancia espectral es captado por los sensores a bordo del satélite y digitalizado como un valor numérico, estos números son transmitidos a la Tierra donde un ordenador le asigna un valor de gris a cada uno para generar una imagen similar a una fotografía (SRGIS Geología y Geomática Ltda., 2005).

La información recogida por los satélites dependerá de la forma en que los objetos interactúan con la energía que impacta sobre ellos. Cuando la luz del Sol ilumina una

superficie, esta puede ser: reflejada, transmitida o absorbida, de esta última resultará la ganancia de temperatura, que luego es emitida.

La proporción de energía asociada a cada uno de estos tres fenómenos dependerá de las características propias del objeto impactado. Los sensores satelitales registran esta información que viajará en forma de radiación electromagnética (ondas). Los distintos sensores a bordo de los satélites medirán la energía en longitudes de ondas específicas y bien definidas, que se denominan **bandas**.

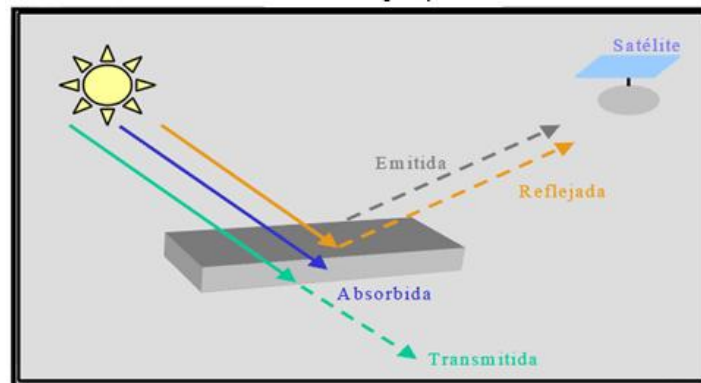


Figura 2.1: Interacción Energía-Objeto (Zerda, 2004).

Las medidas de reflectancia de cada objeto revelan su composición física y química, salud vegetal, contenido de agua, densidad y otros detalles invisibles al ojo humano. Esta información espectral es visible para los sensores que medirán la interacción espectral (SRGIS Geología y Geomática Ltda., 2005).

## El espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas se clasifican según su longitud de onda, estas longitudes agrupadas formarán el **Espectro Electromagnético**. Los sensores utilizados en teledetección captarán distintos segmentos de este espectro. De este grupo de bandas o segmentos, los de mayor importancia en teledetección las constituyen el visible (Verde, Rojo y Azul), el infrarrojo cercano, medio y lejano, así como la zona de microondas (Araya Morales, 2009).

A continuación (imagen 2.2) se presenta un esquema del espectro electromagnético, dividido por bandas y asociado a la longitud de onda correspondiente.

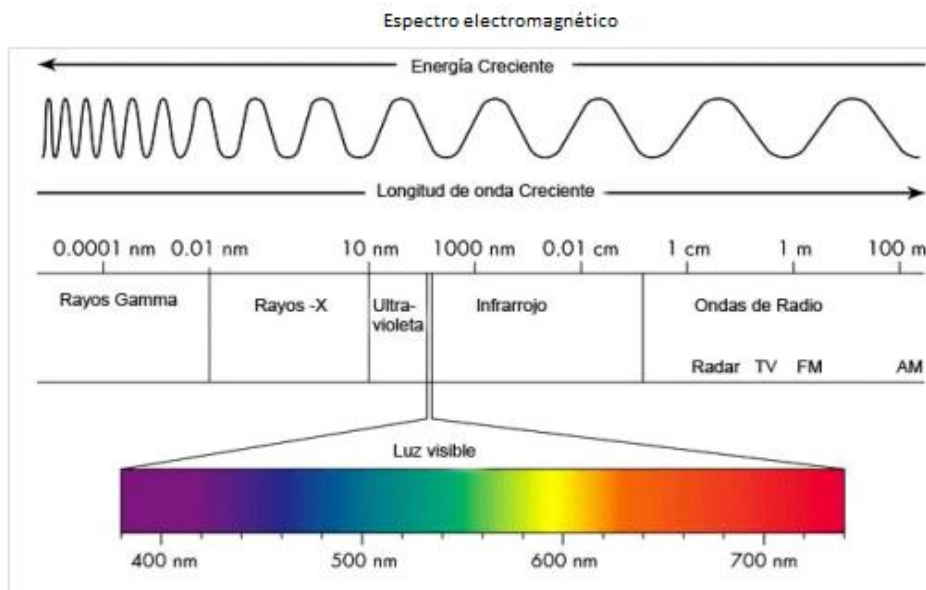


Figura 2.2: Espectro electromagnético (SRGIS Geología y Geomática Ltda., 2005).

## Aplicación de las distintas longitudes de onda

Las imágenes generadas a partir de distintos segmentos del espectro tendrán distintas aplicaciones, en general son:

- ✓ Azul visible: cartografía de aguas someras, diferenciación de suelo y vegetación.
- ✓ Verde visible: diferenciación de la vegetación por su salud.
- ✓ Rojo visible: diferenciación de la vegetación por especies, distinguir principalmente variedades de suelos, tipos de coberturas.
- ✓ Infrarrojo cercano: cartografía de la vegetación, cartografía del vigor/salud de la vegetación, diferenciación de la vegetación por especies, la discriminación entre distintos tipos de vegetación.
- ✓ Infrarrojo medio: diferenciación de los tipos de rocas por composición, detección de humedad en la vegetación y suelo, cartografía de la estructura geológica, trazado de límites tierra/agua, tipos de coberturas, contenido de agua de la vegetación.

Los sensores TM a bordo de satélites Landsat captan distintos segmentos del espectro dividiéndolo en 7 bandas, las cuales tienen distintas aplicaciones. El cuadro 2.3 muestra estos intervalos y sus distintas aplicaciones (Sebem & González Rivera, 2005).

Principales aplicaciones del sensor TM

Banda	Intervalo Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Aplicaciones
1	0,45-0,52	Mapas de aguas de costa. Separación entre el suelo y vegetación. Separación entre pinos y otras especies de árboles.
2	0,52-0,60	Reflectancia de la vegetación verde sana.
3	0,63-0,69	Absorción de la Clorofila. Separación de especies vegetales.
4	0,76-0,90	Estudios de Biomasa. Delimitación de cuerpos de agua.
5	1,55-1,75	Mediciones de la humedad de la vegetación. Separación entre nubes y nieve.
6	10,4-12,5	Mapas de estrés térmico en la vegetación y otros estudios térmicos.
7	2,08-2,35	Mapas hidrotermales.

Tabla 2.1: Aplicaciones del sensor TM (Sebem & González Rivera, 2005)

## Firmas espectrales

Tal como se describió anteriormente, la energía reflejada o emitida por los distintos objetos será medida por los satélites. Cada uno de estos objetos podrá ser identificado según sus niveles de reflectividad y emisividad para cada longitud de onda, esta característica diferencial de cada objeto podrá ser identificada con su “firma espectral”. El concepto de firma espectral será fundamental en teledetección, para poder identificar distintos objetos y seleccionar las bandas más apropiadas para su detección.

En cuanto a la vegetación, ésta característica se hace más compleja ya que la firma espectral de cada cultivo cambiará según época del año, fase de crecimiento, estrés hídrico y otros factores (Zerda, 2004).

## Plataformas satelitales

Las distintas plataformas satelitales disponibles en el mercado, mediante las cuales se obtienen distintos tipos de imágenes satelitales, cuentan con una variedad de sensores y características que deben ser analizadas para una correcta selección de imágenes con que se trabajará. A continuación se describen los distintos sensores y sus características más relevantes.

## Tipos de sensores remotos

Se pueden clasificar los sensores remotos según la fuente de energía que utilizan. Estos pueden ser:

- **Pasivos:** miden la radiación solar reflejada por los objetos terrestres o la emitida a partir de las ondas termales, es decir operan con una fuente externa de energía (el Sol), solo operan de día, con excepción de los sensores que captan la radiación (infrarrojo térmico) y son afectados por la cobertura de nubes.

- **Activos:** estos sensores emiten energía que luego de ser reflejada en la superficie terrestre es captada nuevamente. En este grupo se incluyen los radares de microondas y pueden funcionar sin depender de la luz solar y con cobertura de nubes (Zerda, 2004).

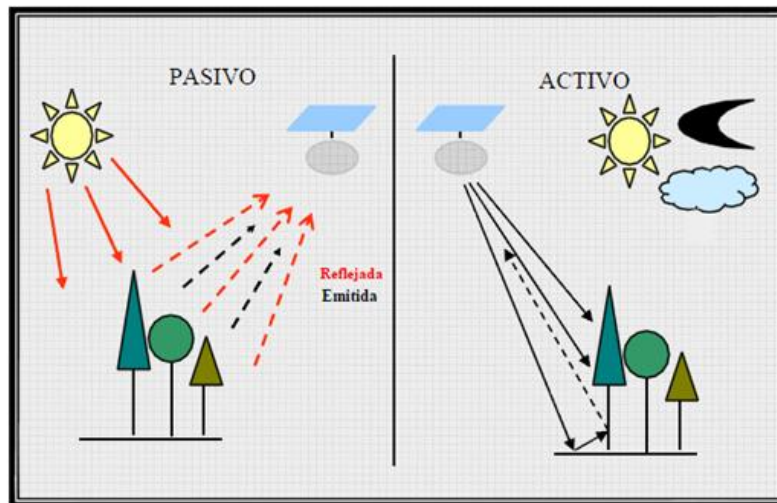


Figura 2.4: Tipos de sensores (Zerda, 2004)

## Características de los sensores

Las características de los sensores hacen que unos sean más apropiados que otros para las distintas aplicaciones, estas características pueden ser agrupadas en:

1. **Resolución espacial:** hace referencia al menor tamaño de toma que permite el sensor, es decir el tamaño del pixel, en otras palabras, determina qué área abarca cada pixel. Será una de las características más importantes a la hora de definir el tipo de sensor, ya que de esta característica dependerá el nivel de detalle que se pueda analizar y generalmente el costo de la imagen.

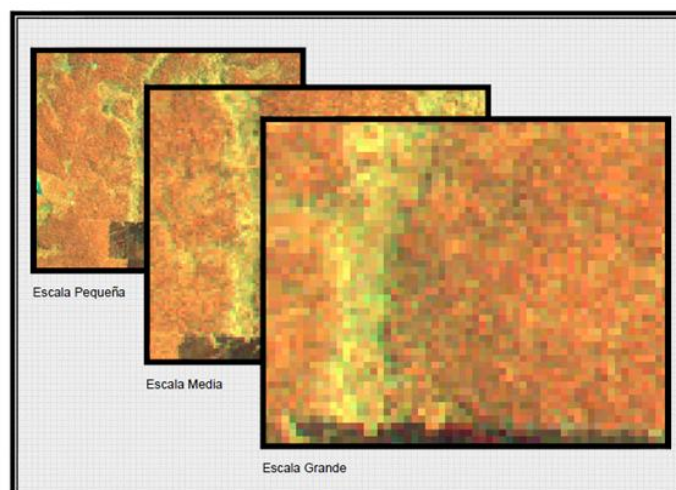


Figura 2.5: Resolución espacial (Zerda, 2004).

2. **Resolución espectral:** hace alusión al número y ancho de bandas espectrales captadas por el sensor. Las longitudes de onda serán medidas en micras ( $\mu\text{m}$ ) y el número de bandas explicará cómo mide el sistema de refractancia. En la imagen a continuación (figura 2.6) se presenta un cuadro comparativo de resolución espectral entre el sensor ASTER y Landsat 7.

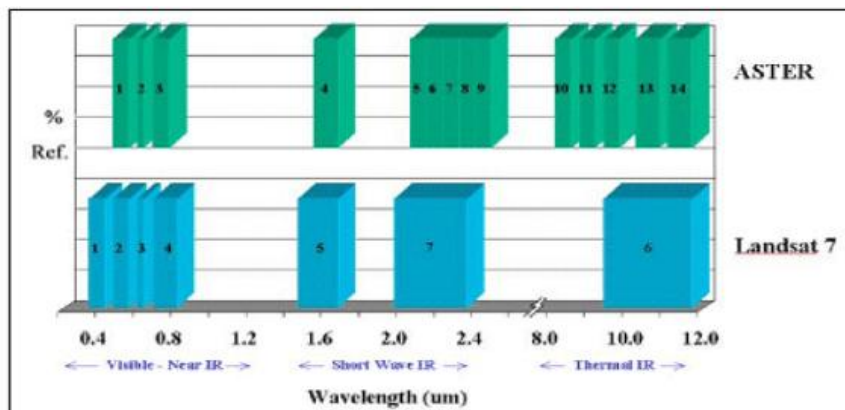


Figura 2.6: Comparación espectral Aster-Landsat (SRGIS Geología y Geomática Ltda., 2005)

3. **Resolución radiométrica:** hace referencia a la sensibilidad del sensor al momento de detectar variaciones en la cantidad de energía recibida. La sensibilidad estará expresada en bits e indicará la cantidad de niveles en que el sensor puede expresar sus mediciones. Ej.: 2 bits equivale a  $2^8 = 256$  niveles digitales (ND), es decir, los valores pueden variar entre 0-255.
4. **Resolución temporal o periodicidad:** de esta característica dependerá la frecuencia con que el sensor adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre, dependerá de las características orbitales, ancho de barrido, construcción y velocidad. Por lo general es medida en días.
5. **Precisión:** hace referencia a la certeza con la que los objetos se encuentran en el lugar donde aparecen en la imagen, se expresa generalmente en píxeles. Ej.: una imagen con resolución de 10 metros puede tener una precisión de un píxel, es decir que un objeto en dicha imagen puede estar descolocado 10 metros en cualquier dirección.
6. **Tamaño de la Escena/Cobertura:** hace referencia al ancho de faja o barrido de cada imagen. El sensor recogerá datos a lo largo de una franja, ésta es habitualmente dividida en escenas cuadradas. Generalmente se mide en kilómetros. Ej.: si el ancho de barrido del sensor es de 30 km, la imagen tendrá 30 x 30 km. (SRGIS Geología y Geomática Ltda., 2005).

## Sensores Landsat

En la actualidad, son muy variadas las fuentes de imágenes satelitales con las que se dispone a la hora de realizar trabajos de teledetección. A continuación se presentan las características de los sensores Landsat, utilizados en este trabajo, por sus características de resolución, disponibilidad y costo.

Landsat fue el primer satélite lanzado por Estados Unidos para el monitoreo de recursos terrestres, inicialmente llamado ERST-1 (Earth Resources Technology Satellite) y luego denominado Landsat junto con otros 5 satélites de la misma familia. Los satélites Landsat 1 a 6 fueron lanzados entre los años 1972 y 1993. La órbita de estos satélites está sincronizada con el sol, por lo que cada toma que se realiza sobre un punto de la superficie terrestre sucede a la misma hora cada 18 y 16 (Zerda, 2004).

Los satélites cuentan con 2 tipos de sensores a bordo:

- Sensores Scanner Multiespectral (MSS).
- Mapeador Temático (TM).

En 1997 es lanzado el satélite Landsat 7 y cuenta con sensores:

- Mapeador Temático Reforzado (ETM).
- Formación de sensores multiespectral lineal (MLA) avanzada.

A modo de resumen, se presenta a continuación la tabla 2.7 con las características de los productos de la familia de satélites Landsat.

Característica	Familia Landsat					
	1	2	3	4	5	7
Lanzamiento	23/07/72	22/01/75	05/03/78	16/07/82	01/03/84	15/04/99
Fin Servicio	06/01/78	25/02/82	31/03/83	1983	En activo	En activo
Altitud (km)	917	917	917	705	705	705
Periodicidad (días)	18	18	18	16	16	16
Sensor	RBV,MSS	RBV,MSS	RBV,MSS	MSS, TM	MSS, TM	ETM
<b>Bandas: Intervalo espectral (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
RBV (1)	0,48-0,57	0,48-0,57	0,50-0,75			
RBV (2)	0,58-0,68	0,58-0,68				
RBV (3)	0,70-0,83	0,70-0,83				
MSS (4)	0,50-0,60	0,50-0,60	0,50-0,60	0,50-0,60	0,50-0,60	
MSS (5)	0,60-0,70	0,60-0,70	0,60-0,70	0,60-0,70	0,60-0,70	
MSS (6)	0,70-0,80	0,70-0,80	0,70-0,80	0,70-0,80	0,70-0,80	
MSS (7)	0,80-1,10	0,80-1,10	0,80-1,10	0,80-1,10	0,80-1,10	
MSS (8)			10,4-12,6			
TM/EMT (1)				0,45-0,52	0,45-0,52	0,45-0,52
TM/EMT (2)				0,52-0,60	0,52-0,60	0,52-0,60
TM/EMT (3)				0,63-0,69	0,63-0,69	0,63-0,69
TM/EMT (4)				0,76-0,90	0,76-0,90	0,76-0,90
TM/EMT (5)				1,55-1,75	1,55-1,75	1,55-1,75
TM/EMT (6)				10,4-12,5	10,4-12,5	10,4-12,5
TM/EMT (7)				2,08-2,35	2,08-2,35	2,08-2,35
ETM PAN						0,50-0,90
Resolución Espacial (m)	RBV=80 MSS=79	RBV=80 MSS=79	RBV=40 MSS <sup>1</sup> =79 <sup>1</sup> (8)=240	MSS=82 TM <sup>2</sup> =30 <sup>2</sup> (6)=120	MSS=82 TM <sup>3</sup> =30 <sup>3</sup> (6)=120	ETM <sup>4</sup> =30 <sup>4</sup> (6)=120 PAN=15

Tabla 2.2: Características de la familia Landsat (Sebem & González Rivera, 2005)

## Landsat 5:

Debido a las características que presentan los sensores a bordo de la plataforma satelital Landsat 5, se utilizaran estas imágenes para el cálculo de los índices de vegetación en

los que se basará la definición de ambientes de este trabajo, así como análisis complementarios. Sus características son:

- Sensor pasivo.
- Resolución espacial de 30 mt.
- Resolución radiométrica de 8 bits.
- Resolución temporal o periodicidad: 16 días.
- Tamaño de la escena: 185 km.

## Interpretación de imágenes:

La interpretación de las imágenes digitales básicamente se puede realizar mediante dos métodos, la interpretación visual y la clasificación digital. Ambos implican ventajas y desventajas por lo que no deben ser excluyentes el uno del otro sino que deben complementarse (SRGIS Geología y Geomática Ltda., 2005).

**Interpretación visual:** este método se apoya principalmente en los conocimientos del intérprete, la principal ventaja es que permite la incorporación de criterios complejos como textura, estructuras, emplazamiento o disposición, formas, tamaño y la experiencia del intérprete. Esta interpretación estará ayudada por Softwares que permitirán realizar mejoras visuales, análisis a distintas escalas y permitirán agregar datos complementarios.

**Interpretación digital:** este método clasifica automáticamente los píxeles en un número finito de clases o categorías basándose en valores de ND apoyándose en la intensidad de los píxeles. Las categorías pueden ser definidas de dos formas: mediante clasificación supervisada o dirigida, donde se tienen datos a priori de los objetos en las imágenes, que le son indicados al sistema para su aprendizaje. O mediante una clasificación no supervisada, donde no se transmite información a priori al sistema y los píxeles son agrupados sobre la base de similitud espectral, conformando clases espectrales.

Para la clasificación de ambientes que se realizó en este proyecto se utilizaron ambas formas de interpretación, algunas clasificaciones se realizaron automáticamente por programas especializados y otras manualmente según la interpretación humana, asimismo los resultados de las clasificaciones automáticas fueron revisados y corregidos mediante interpretación visual.

## Uso de los datos de percepción remota

Si bien mediante la percepción remota no se podrán tomar valores de deficiencia de nutrientes o niveles de humedad en el suelo, nos permitirá inferir estas condiciones una vez establecidas las relaciones entre los datos del suelo o las plantas y los datos de detección remota. Una vez realizada ésta relación se podrá aplicar a áreas de mayor dimensión donde no se cuenta con datos de medición en tierra. Este es el verdadero valor de PR que permite generar grandes volúmenes de información en períodos cortos de tiempo y reduciendo la mano de obra (INTA, s.f.).

El uso de imágenes satelitales con este fin requiere de varios niveles de procesamiento y los datos deberán ser integrados a un SIG, generalmente en forma de capas, para poder ser analizados correctamente.

## Índices de vegetación

---

Siguiendo con los conceptos de teledetección y en base a la información presentada acerca de las imágenes satelitales y sus posibles aplicaciones en detección remota como fuente de datos para la agricultura de precisión, se presentan los índices de vegetación como una fuente de información para la delimitación de ambientes de trabajo (Zerda, 2004).

Estos se basan en la respuesta espectral de la cubierta vegetal y posibilitan la generación de mapas de Índice Verde que tienen una comprobada relación con las características de los cultivos como área foliar, total de materia verde y situaciones de estrés. En función de estas características se puede realizar una definición de áreas de características ambientales similares.

Para este trabajo se utilizará el índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) definido por ESRI como “un índice normalizado que permite generar una imagen que muestra el verdor (la biomasa relativa). Este índice aprovecha el contraste de las características de dos bandas de un dataset ráster multiespectral: las absorciones de pigmento de clorofila en la banda roja y la alta reflectividad de los materiales de las plantas en la banda cercana al infrarrojo (NIR).” (ESRI, s.f.).

Este índice responde a la siguiente fórmula algebraica:

$$\text{NDVI} = ((\text{IR} - \text{R}) / (\text{IR} + \text{R}))$$

Donde:

- IR = Infrarrojo Cercano
- R = Rojo

\*(IR y R están definidas por las medidas de reflexión espectral adquiridas en las regiones del rojo e infrarrojo cercano, respectivamente.)

Este índice genera valores entre -1,0 y 1,0 que básicamente representan el verdor.

### Efecto bordura:

Al intentar definir ambientes en base a mapas de Índice Verde se deberá tener en cuenta que, por las condiciones de manejo del campo, se pueden generar ambientes artificiales, estos se dan sobre todo en los límites entre los distintos lotes debido a diferencias mínimas en la rectificación de las imágenes y al valor mixto de los píxeles de los límites del lote, a esta distorsión se la denomina efecto bordura. Para evitar esta distorsión se deberán eliminar los valores más cercanos a los límites entre lotes de las imágenes (Torroba & Menéndez, Utilidad de diferentes combinaciones de bandas para la delimitación de ambientes en un establecimiento agropecuario de la Región Pampeana Argentina., s.f.).

## Modelos de elevación digital

El Servicio Geológico Minero Argentino define a los modelos de elevación digital como, “... una representación de las elevaciones que presenta el terreno mediante valores numéricos y consiste en una serie de puntos con coordenadas conocidas referenciadas a un sistema de coordenadas bidimensionales, a las que se les asocia un valor de elevación” (Servicio Geológico Minero Argentino, 2012).

Los modelos de elevación digital (DEM por sus siglas en inglés) son representaciones de la distribución altimétrica espacial o cota del terreno, expresados en estructuras numéricas simbólicas, estableciendo relaciones de correspondencia con los objetos reales en base a algoritmos o formalismos matemáticos (SRGIS Geología y Geomática Ltda., 2005). En la imagen 2.8 se presenta un Modelo de Elevación Digital y las curvas de nivel que a este le corresponderían.

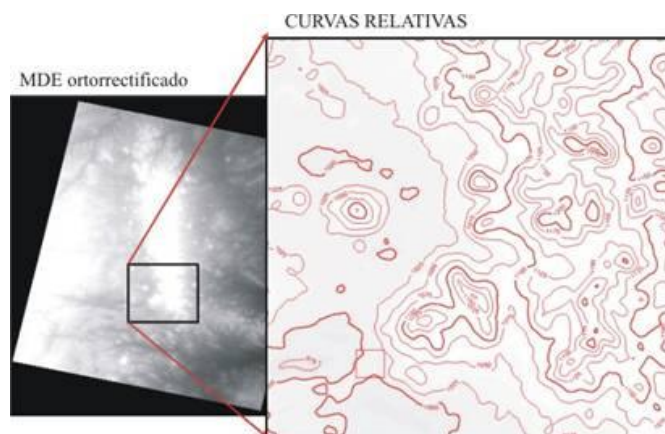


Figura 2.8: Modelo de elevación digital (SRGIS Geología y Geomática Ltda., 2005).

Estos modelos se han difundido en los últimos años principalmente por la publicación de dos DEM de todo el mundo en mediana resolución, los cuales son de acceso gratuito mediante la web. El relevamiento SRTM de la NASA con un valor de altitud por cada 3 arcos de segundo de grado (similar a una resolución espacial de 90 metros) y un modelo de elevación obtenido con imágenes satelitales Aster, de 30 mt de resolución (Ciampagna, 2011).

Estos modelos pueden ser de gran utilidad a la hora de definir ambientes de trabajo en el sector agrario, ya que permiten la identificación de Loma, Media Loma y Bajo así como la caracterización de pendientes, factores que condicionarán principalmente la acumulación de humedad y el comportamiento de los cultivos. Estudios realizados en la zona sobre la en que se realizó el trabajo, han demostrado que en relación al relieve, se presentan diferencias en rendimiento y respuesta ante aplicaciones variables en cultivos de trigo, maíz y girasol (Quiroga & Pérez Fernández, 2008).

## Análisis de impacto económico

Dadas las condiciones de mercados de los comoditties agrarios, que se aproxima en gran medida a la competencia perfecta, el productor tiene un muy limitado poder para elevar los

precios que percibe. De esta forma, si se desean elevar los márgenes, la mejor alternativa será la reducción en costos de producción. Una de las prácticas que acompañan esta estrategia es la aplicación de procesos de AP, estas prácticas combinan dos factores, el agronómico y el económico. Las decisiones agronómicas apuntarán a optimizar rendimientos de forma sustentable en el tiempo, mientras que por el lado económico, se intentará la maximización del beneficio (Baños & Goenaga, 2003).

La creciente competitividad del sistema productivo argentino, debido principalmente al aumento promedio de las tierras sumado al alto valor de los alquileres, genera una situación en que los productores medios son superados por productores más eficientes, quienes básicamente obtienen mayor productividad aumentando la calidad en procesos y producto. En este sentido AP básicamente tiene tres objetivos: generar información útil para mejorar procesos de toma de decisión, aumentar la eficiencia en el uso de los recursos y así aumentar la productividad y rentabilidad (Bosch, s.f.).

De acuerdo con resultados del proyecto de Agricultura de Precisión del INTA, realizados en Córdoba, la determinación de la variabilidad en lotes genera información muy útil a la hora de tomar decisiones administrativas y estratégicas. En lotes de escasa variabilidad se ha observado que los datos son útiles para determinar dosis, híbridos, densidad de siembra, etc. y en lotes de alta variabilidad las aplicaciones son similares, pero ya no a nivel lote sino que a nivel sitio específico, es decir, por ambientes.

Estos estudios han llevado a determinar que los beneficios agronómicos se expresan en mejoras de alrededor del 10%, dependiendo del caso. Dicha diferencia en los actuales márgenes pueden llegar a tener un fuerte impacto sobre el resultado del negocio, principalmente expresado por una reducción de costos. En los casos de éxito, la principal variable es un correcto diagnóstico agronómico / económico sobre la situación (Bragachini, Méndez, & Scaramuzza, s.f.).

Los procesos de AP son una importante fuente de información, esta solo tendrá relevancia en la medida en que esté combinada por decisiones administrativas. AP no se restringe al uso de alta tecnología, es control electrónico, recolección de datos, interpretación de información y apoyo de procesos. En este sentido se debe tener en cuenta que la determinación de ambientes es una tarea dificultosa debido a la cantidad de factores que influyen sobre el rendimiento. Así, las prácticas de AP deben ser entendidas como de apoyo sobre procesos.

En general estas prácticas son recomendables en lotes que presentan alta variabilidad, pero será imprescindible entender las complejas relaciones de los factores que afectan al rendimiento para poder así, desarrollar un método objetivo de diferenciación de ambientes de rendimiento homogéneo (Proietti, 2003).

## Caracterización del establecimiento

A continuación se presenta una reseña general de las características del establecimiento y condiciones agrícolas de la zona. Esta caracterización será el punto de partida para el análisis sobre las condiciones que afectan el desarrollo de los cultivos en el establecimiento.

El trabajo se realizó sobre el establecimiento “Los Médanos” ( $63^{\circ}32'10''\text{O}$   $36^{\circ}27'27''\text{S}$ ) ubicado en el departamento de Catrilló, al Nor-Este de la provincia de La Pampa, cerca del límite con Buenos Aires. Específicamente sobre la ruta 5 a la altura del kilometro 537. El mismo cuenta con 285 hectáreas en producción, divididas en 11 lotes.



Figura 2.9: Localización, establecimiento “Los Médanos” (Elaboración propia, 2012)

## Caracterización de la zona:

El predio se ubica en la zona denominada “Planicie medanosa” (zona VI, según la caracterización edafo – climática del INTA), desde el punto de vista agroclimático, esta Zona es la mejor dotada de la provincia de La Pampa ya que sus regímenes térmicos e hídricos son adecuados para obtener buenos rendimientos en producción agropecuaria.

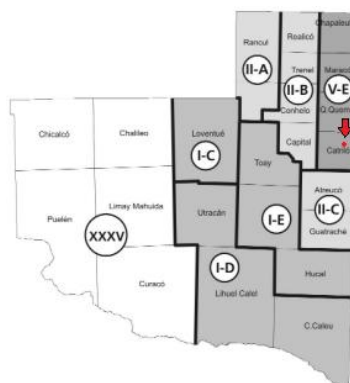


Figura 2.10: Caracterización edafo-climática, provincia de La Pampa (INTA, 2002)

La zona corresponde a "...la extensa llanura pampeana, que posee continuidad con las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fé. La nomenclatura "arenosa" hace referencia a un suelo de textura arenoso o franco arenoso, sin límites en profundidad. El paisaje característico de esta zona corresponde a planicies extendidas, onduladas, con acceso variable a napa freática, por parte de los cultivos. Cuenta con suelos simples pero buena disponibilidad de materia orgánica en superficie. En la provincia de La Pampa, se han incluido en esta Zona los Departamentos Chapaleufú, Maracó, Quemú-Quemu y Catrilo. Se han considerado luego, estos cuatro Departamentos, como una única subzona, con una superficie de 1.018.835 ha." (INTA, 2002).

## Caracterización edáfica y climática:

### Heladas:

En lo que respecta a las heladas las fechas aproximadas de inicio el 10 de Mayo y finalizan el 20 de Septiembre lo que diferencia a la zona del resto de la región por contar con un período libre de heladas superior en unos 15 a 20 días, lo que la hace menos riesgosa para los cultivos, especialmente para los de cosecha gruesa (INTA, 2002).

### Evapotranspiración:

Por tratarse de una región con régimen de temperatura superior al resto de la provincia, el régimen de evapotranspiración potencial es algo mayor, ayudado por el tipo de suelo y la velocidad del viento (14 km/hr en General Pico), esto se debe a la circulación de masas de aire producto del accionar de dos anticiclones (altas presiones) que la gobiernan (INTA, 2002).

### Suelo:

En cuanto a los suelos, se trata de una zona dominada por ondulaciones arenosas con sentido Norte-Sur y de médanos aislados. Entre estas ondulaciones se encuentran planicies arenosas de aproximadamente 3 a 4 km de ancho. La presencia de áreas deprimidas favorece la formación de pequeñas lagunas temporales.

Según informes del INTA, 2002 "El sedimento arenoso de presencia variable (hasta 6 metros en la franja este), es de textura franco arenosa fina. A partir de 1,1 m de profundidad, contiene un 2% de carbonato de calcio en concreciones y en masa. El perfil dominante es sencillo: A-AC-C y la tosca se encuentra por debajo de los dos metros. Suelo superficial (capa arable) con buen contenido de materia orgánica que en algunos casos sobrepasa el 2% y bien estructurado. Presentan drenaje algo excesivo, permeabilidad rápida, escurrimiento casi nulo y capa freática profunda".

El tipo de suelo dominante en la zona pertenece al grupo de los Entisoles y Molisoles, el INTA describe los suelos de la zona como "*Haplustol entico*, familia franca gruesa, que se continúan en las provincias de Córdoba y Buenos Aires. Hacia el norte de la Zona, el paisaje se presenta como lomas extendidas, suavemente onduladas. Estos suelos fueron denominados

Battistoni, Jeremías – Licenciatura en Administración Agraria

en su clasificación original, como *serie Rivadavia*, en alusión al partido homónimo de esta última provincia. Hacia el sur de la localidad de General Pico, estas lomas forman médanos bastante rebajados y estabilizados que en su mayoría se cultivan. No hay diferencias entre las cúspides y los bajos de las ondulaciones en cuanto al desarrollo genético y características morfológicas del perfil. Corresponde a la denominada *serie Pellegrini*, también en concordancia con su prolongación hacia la provincia de Buenos Aires.” Con un régimen de ústico, marginal al údico y clase granulométrica franco gruesa (INTA, 2002).

### Precipitaciones:

Posee un régimen general ústico, con precipitaciones promedio anuales para la explotación en análisis en el orden de los 650 mm según el productor.

Si tomamos la serie de precipitaciones promedio anuales de la serie 1961-1998 para localidades representativas de la zona obtenemos un milimetraje de: 825.9 mm en Intendente Alvear; 807.3 mm en General Pico 807.3 mm y 774 mm en Dorila. Se debe tener en cuenta que el milimetraje de la zona desciende en sentido Norte-Sur y Este-Oeste. En los balances hídricos no existen marcadas diferencias, aunque la evapotranspiración potencial es ligeramente superior en el norte por ser más elevada la temperatura (Casagrande, Vergara, & Bellini, s.f.).

### Uso general de la tierra y sistemas productivos:

A continuación se presenta una breve caracterización de la zona según el uso de la tierra y el tipo de explotación. Se comienza por mostrar un cuadro de las principales categorías de cultivos y su participación relativa en cuanto al uso de la tierra según evaluaciones realizadas por el proyecto AgroRadar.

Cosecha Gruesa.....	32%
Pasturas Perennes .....	30%
Verdeos de Invierno.....	21%
Cosecha Fina .....	3%
Verdeos de Verano .....	2%

Tabla 2.3: Participación relativa por cultivos en función del uso el suelo en La Pampa (INTA, 2002).

“Los sistemas productivos preponderantes son del tipo mixtos agrícola-ganaderos. Aún cuando es la región de mayor aptitud agrícola de La Pampa, desde el punto de vista ganadero se han detectado más del 50% de sistemas de ciclo completo. La invernada tiene una participación de entre un 30 a 40% y la actividad tambo aparece con un 4 a 5 %. Sólo en el sur de este subzona encontramos un 10% de establecimientos con la actividad cría bovina.” (INTA, 2002).

La información anterior es coincidente con la aptitud de uso potencial de estos suelos donde la participación de forrajeras anuales y de pasturas perennes base alfalfa es de medio a alto. Los cultivos de cosecha principales como trigo, girasol, maíz, soja y sorgo representan el máximo potencial relativo para La Pampa.

El 90% de los productores explotan sus propias tierras aunque en relación a las otras subzonas, existe una mayor concentración de empresas entre las 500 a 2500 ha. Respecto a

tipo jurídico, esta subzona también muestra la particularidad de contar con la menor proporción de Personas Físicas (35%) y la mayor cantidad de Sociedades Comerciales (Sociedad de Hecho: 40%; S.C.A.: 3% y S.A.: 22%).” (INTA, 2002).

## Establecimiento “Los Médanos”:

### Reseña histórica:

El predio con que cuenta la empresa perteneció originalmente a la familia Souto, quienes establecieron en el mismo una cabaña ovina, dedicada a la producción de carne y lana. Posteriormente, aproximadamente en el año 1990, con el desplazamiento de esta actividad, se destina la totalidad del predio a producción agrícola.

Luego de la crisis económica del 2001, el predio es adquirido por los actuales dueños en una inversión meramente especulativa, ya que la familia no tenía relación con el sector agrario. A partir de la adquisición, se pone en arriendo una porción del campo que es destinada a agricultura, principalmente bajo monocultivo de oleaginosas, y la superficie restante es destinada a invernada. En el año 2005, se llega a contar con 250 cabezas y 150 has implantadas con pasturas. En 2008 se decide abandonar la actividad ganadera y se alquila el total del predio con fines agrícolas, con lo que la mayor parte de las tierras implantadas con pasturas son utilizadas para agricultura.

En la actualidad, el predio es manejado por el Ingeniero Agrónomo Gabriel Blain y se pretende comenzar con producción propia, bajo un sistema mixto de ganadería, en el 80% de la superficie y agricultura en un 20%. Destinando 60 hectáreas a la producción agrícola bajo una rotación soja-maíz-girasol y dedicando las otras 240 has a la ganadería de invernada con engorde a campo, implementando 200 hectáreas de alfalfa y dedicando 40 a forrajeras.

## Reseña histórica sobre el manejo productivo del campo:

### Agricultura:

La actividad agrícola se realizó siempre bajo arrendamiento, participando en las ganancias con un porcentaje de la producción. Desde el 2001, cuando se arrienda por primera vez parte del predio, las hectáreas arrendadas se destinan a agricultura bajo un sistema de rotación de soja-girasol y eventualmente se hicieron intentos con maíz.

A partir del año 2008, la totalidad del predio es puesta bajo arriendo y casi la totalidad de la superficie es destinada a agricultura.

Los rindes históricos del campo son:

- Soja: 12 qq/ha
- Girasol: 25 qq/ha
- Maíz: 30/40 qq/ha

Desde el año 2001, el campo viene sufriendo un constante desgaste de sus suelos, a causa del poco descanso que se les da a los potreros y un sistema de manejo que derivó en monocultivo de oleaginosas (girasol –soja), sin incorporación de fertilizantes.

### Ganadería:

La experiencia ganadera en la empresa es breve, entre los años 2001 y 2008, en que se dedicaron 180 has a invernada y se llegó a contar con 250 cabezas de ganado. En la superficie destinada a esta actividad se implementaron pasturas de alfalfa, festuca y cebada o cebadilla y algunos cuadros implantados con pasto llorón. Como complemento, también se trabajó con forrajes; avena y maíz para pastoreo.

En el año 2008, por razones económicas, ésta actividad es abandonada y las tierras son arrendadas para agricultura, con lo que se pierden la mayor parte de las pasturas.

Hoy en día, solo se han conservado escasos manchones de pasto llorón en las áreas más medanosas y de menor condición agrícola.

Vale destacar que el predio cuenta con instalaciones ganaderas, que en un principio fueron utilizadas para la producción ovina, por los anteriores dueños y luego por los actuales en los años que se realizó invernada. Estas se encuentran en buenas condiciones y pueden ser aprovechadas en una futura práctica ganadera.

## Imagen satelital del establecimiento:

A continuación se presenta una imagen satelital de alta definición del establecimiento “Los Médanos”, en estas se han delimitado los lotes según su configuración actual y se les asigno el numero de cuadro según especificaciones del productor, esta denominación se utilizara en los distintos análisis para facilitar el manejo de la información.

### "Los Médanos"



Figura 2.12: Establecimiento “Los Médanos”, imagen satelital (Elaboración propia, 2012)

## Descripción de imagen satelital:

En la imagen 2.12 se ha delineado el establecimiento “Los Médanos” y se han marcado y numerado los cuadros en los que está dividido el campo de acuerdo a información aportada por el productor, con el fin de facilitar el análisis.

Concordando con la caracterización de la zona se observa que la totalidad del campo está atravesada por áreas medanosas que corren en sentido sur-oeste, destacando su presencia en los cuadros 3, 4 y 5, donde se pueden observar como manchones más claros. En los mencionados cuadros la agricultura sólo se practica en los bajos, por los bajos rendimientos que ofrecen los médanos.

En los cuadros 1,2 y 8, si bien están destinados a agricultura, se pueden apreciar manchones de pasto llorón que pertenecen a antiguas pasturas implantadas, estos se han mantenido en las cimas de los médanos por su baja condición agrícola.

Los lotes 6,9 y 10 son los que históricamente han generado mejores rindes agrícolas, este último atravesado por un pequeño monte de Álamos y Eucaliptus.

## Análisis FODA

---

A continuación y como cierre de la introducción a las características del establecimiento, se presenta un análisis FODA de situación como primera aproximación a las condiciones reales en las que se encuentra inmersa la empresa. Este permitirá generar una primera impresión sobre la factibilidad de aplicación del proyecto de manejo por ambientes planteado.

### Análisis externo

#### **Oportunidades**

- Creciente disponibilidad de equipos y maquinaria necesarios para AP.
- Buenos precios de hacienda y granos.
- Apertura de nuevos mercados para productores que incorporan tecnología de precisión.
- Desplazamiento de las zonas marginales de producción por aumentos en factores tecnológicos.
- Posibilidad de incorporar materiales de genética especializada para distintas decisiones de manejo.
- Profesionalización del sector, tendiente a manejar establecimientos como empresas.
- Creciente presencia de empresas dedicadas a la Agricultura de Precisión en la zona.

#### **Amenazas**

- Inestabilidad política en el sector.
- Creciente dependencia de mano de obra especializada.

Battistoni, Jeremías – Licenciatura en Administración Agraria

- Inestabilidad de los precios de los commodities.
- Creciente tendencia en el sector al uso de contratistas generando dependencia y desincentivando inversión.
- Aumento constante en los costos de los factores productivos.
- Baja disponibilidad de empresas dedicadas a técnicas de AP en la zona.

## Análisis Interno

### **Fortalezas**

- La toma de decisiones es realizada por personal capacitado (ingeniero agrónomo).
- Buena infraestructura en el establecimiento.
- Cercanía a la ruta.
- Experiencia con contratistas.
- Campo con buenas condiciones agrícola-ganaderas.
- Personal con experiencia.
- Diversificación de la producción.
- Tendencia a la capacitación constante en la administración.
- Políticas abiertas a nuevas oportunidades comerciales.
- Asesoría externa y trabajo en conjunto con contratistas.

### **Debilidades**

- Falta de experiencia por parte de la administración.
- Falta de capacidad de almacenamiento.
- Falta de maquinaria.
- Falta de acuerdos comerciales formales.
- Personal no capacitado para AP.
- Suelos castigados por monocultivo y baja productividad con respecto a rindes promedio en la zona.
- Alta variabilidad de los suelos en el establecimiento.
- Rendimientos bajos, con respecto a rindes promedio en la zona.

## Conclusión del análisis FODA:

En la actualidad, el productor se encuentra ante un nuevo escenario, tendiente al uso eficiente de los recursos y el cuidado del medio ambiente, así como un constante aumento en los costos, de este escenario surge como alternativa los sistemas de Agricultura de Precisión. Analizando las oportunidades que este nuevo entorno ofrece al productor, se encuentran la apertura a nuevos mercados para quienes cuenten con la capacidad de explotarlos, al contar con la tecnología necesaria, así como el constante aumento de costos, sólo podrán ser

contrarrestados con un aumento en los factores tocológicos que permitan un mejor aprovechamiento de los insumos.

Si bien la inestabilidad de los precios y la falta de políticas claras a largo plazo pueden no estimular las inversiones, éste es un entorno constante al que los productores deberán adaptarse. La incorporación de tecnología de procesos surge entonces como respuesta a un entorno cambiante, con el fin de aumentar los rendimientos efectivos y como medio para la racionalización de uso de factores productivos, así como una fuente fehaciente de información para la toma de decisiones.

En cuanto al análisis interno, si bien la empresa se encuentra en un momento de transición, al haber sido tomada por un nuevo administrador y contar con falta de experiencia, esta nueva dirección está a cargo de un Ingeniero Agrónomo quien busca salir del sistema tradicional de monocultivos y arrendamientos, para pasar a un nuevo sistema productivo. De todas formas las políticas de la empresa aún no están bien definidas en éste sentido. En éste entorno interno se propondrá la incorporación de un sistema de manejo por ambientes, el cual puede ser útil a la hora de contrarrestar las principales debilidades productivas como la gran variabilidad en los suelos, el deterioro de los mismos por sistemas tradicionales de manejo y principalmente la baja productividad en comparación con rindes de la zona.

La falta de maquinaria propia y la gran dependencia de contratistas, sumados a la falta de acuerdos formales comerciales y de servicios, se contrarrestan con la gran experiencia que tiene la empresa en lo que refiere a tercerización de servicios. Esto puede ser tomado como una oportunidad si se tiene en cuenta que se busca implementar un nuevo sistema productivo el cual requerirá de nuevos factores tecnológicos.

Teniendo en cuenta las disponibilidades del mercado, el entorno en el que se encuentra inmerso la empresa y las características propias de ésta, se propone una definición de ambientes de trabajo mediante teledetección con el objetivo de ser el primer paso para una futura incorporación a un sistema de Agricultura de Precisión en el establecimiento, tanto para el área agrícola como para la ganadera.

## Capítulo III

### Metodología:

---

## Generalidades:

---

La metodología es el estudio y evaluación de las relaciones entre cuerpo teórico, fenómenos estudiados y las actividades que involucra el método. Nos prepara para conocer y evaluar los procedimientos más adecuados para estudiar un fenómeno, dado el contexto de unas opciones teóricas determinadas (Scribano, 2002).

A continuación se presenta la metodología utilizada para la identificación de ambientes de trabajo diferenciales en el establecimiento “Los Médanos”. Con el fin de lograr esta caracterización ambiental se utilizaron distintos métodos cualitativos y cuantitativos de recolección y análisis de información.

## Resumen rápido:

---

Con el fin de caracterizar ambientes de potencial rendimiento y aptitud productiva de forma remota se partió de una recopilación de información general sobre la zona, así como del establecimiento en sí mismo. Toda la información obtenida fue procesada utilizando distintas técnicas de acuerdo al tipo de datos y se integro a un sistema de información geográfica, sobre el cual se realizaron distintos tipos de análisis y cruzamientos de información tendientes a la resolución de los objetivos planteados. Una vez obtenidos los resultados de la investigación, se remuestreó el establecimiento con el fin de constatar a campo los datos obtenidos y corregir incongruencias, generando así la información final sobre la cual se desarrolló el trabajo.

## Caracterización del establecimiento

---

Como primer paso para la definición de ambientes se tomó en cuenta la información complementaria de base, la cual se utilizó para realizar una primera aproximación de las características del establecimiento. Para esto se trabajó sobre dos puntos básicos: las características del establecimiento y el historial de manejo.

### Recopilación de datos

#### **Características ambientales y geográficas:**

Con el fin de analizar el contexto en cual está inmerso el establecimiento y por el cual se ve afectado, se realizó un estudio de tipo descriptivo para el cual compilaron una serie de datos con el fin de generar un perfil específico para la zona productiva.

Para la compilación de la información pertinente se recurrió a distintas fuentes, primarias y secundarias (artículos, libros y publicaciones) con el objetivo de contar con datos cualitativos y cuantitativos de los componentes del agrosistema en el que está inmerso el establecimiento. Principalmente se recurrió a fuentes provenientes del INTA por la fiabilidad de sus datos.

## **Infraestructura e historial de manejo el establecimiento:**

La información preliminar que se utilizó para realizar un diagnóstico y caracterización del establecimiento se obtuvo a través de entrevistas no estructuradas y semiestructuradas con productores, asesores y otros individuos que han tenido incumbencia en el manejo pasado del establecimiento.

Con respecto al historial de manejo las entrevistas apuntaron a coleccionar información sobre la forma que se han manejado los lotes y la variabilidad y comportamiento de los mismos. Para la confección del historial productivo se complementaron las entrevistas con análisis de imágenes satelitales históricas del establecimiento. La información compilada se presentó en forma de planilla o fue volcada en los diagnósticos correspondientes.

Esta metodología se repite para otros puntos del análisis que requirieron información proveniente de las mencionadas fuentes, siendo el caso del relevamiento sobre la infraestructura, que consistió en el análisis de imágenes complementado con entrevistas y consultas a los actores correspondientes. Todos los datos recolectados fueron luego incorporados a un SIG.

Las imágenes satelitales de alta resolución utilizadas para los estudios de interpretación visual fueron obtenidas de motores de búsqueda de acceso público, Google y Bing.

### Análisis de datos

Con la información compilada según se menciona anteriormente, se realizó una caracterización del agrosistema correspondiente al establecimiento en estudio y se utilizaron distintas técnicas para realizar un análisis de situación sobre el mismo.

Para la caracterización del agrosistema se realizó un estudio de tipo descriptivo cuali-cuantitativo que se presenta dentro del marco teórico del trabajo. La finalidad de este análisis es orientar la búsqueda de datos y facilitar la determinación de variables tendientes a resolver los objetivos planteados.

En lo que concierne a los estudios realizados sobre el establecimiento en sí mismo, se utilizó la información compilada en las entrevistas y los resultados de la caracterización geográfica para realizar un análisis tipo FODA y estudios comparativos de datos cuantitativos, de los cuales se desprendió la viabilidad de los estudios y sirvió como primer aproximación a la problemática.

La caracterización se completó con un análisis de interpretación visual sobre una imagen satelital de alta resolución del establecimiento.

### **Confección de un Sistema de Información Geográfica**

Para confección del Sistema de Información Geográfica principal en el que se compiló toda la información correspondiente, se utilizó el software ArcGis 10.1.

El procesamiento de imágenes y los análisis de datos correspondientes se realizaron sobre las plataformas ArcGis 10.1, EnviEx y GoogleEarth.

Battistoni, Jeremías – Licenciatura en Administración Agraria

## **Análisis e interpretación de índices de vegetación**

La determinación de ambientes de trabajo realizada en este trabajo de aplicación profesional se basó en la interpretación de índices de vegetación históricos del establecimiento en estudio. Estos índices son obtenidos en base a imágenes satelitales multiespectrales y en esta ocasión se utilizaron imágenes Landsat 5 y 7.

### Recopilación de datos

#### **Imágenes satelitales multiespectrales históricas:**

Para la obtención de las imágenes históricas del establecimiento se determino, con la ayuda de una grilla, el cuadrante correspondiente a la ubicación del establecimiento (cuadrante 228\_085, de acuerdo a la grilla Landsat).

En base a la información compilada en la caracterización del establecimiento se estableció un rango de fechas optimas para la obtención de las imágenes pertinentes a los estudios se índice de vegetación (campaña estival, entre enero y marzo de cada año).

Definidas las fechas optimas y teniendo en cuenta disponibilidad y cobertura de nubes, se procedió a la descarga y acondicionamiento de las imágenes. Como fuente se utilizaron los catálogos de imágenes históricas disponibles en las páginas del “Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)” de Brasil y en “USGS Global Visualization Viewer (GLOVIS de Estados Unidos)”.

Se utilizaron imágenes Landsat 5 de todo el establecimiento correspondientes a un periodo de once años consecutivos, de 2001 a 2011. Una imagen de la campaña estival por cada año. Se trabajo sobre 11 imágenes de campañas estivales consecutivas.

#### **Puntos de referencia espacial:**

Los puntos de referencia para la georreferenciación de las imágenes e información espacial, se obtuvieron a partir de datos obtenidos a campo y la utilización de datos globales obtenidos de imágenes georreferenciadas disponibles.

#### **Índices NDVI:**

El índice de vegetación que se utilizó para la resolución de los objetivos planteados fue el Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI por su sigla en inglés) y se calculó en base a las imágenes satelitales obtenidas según se menciona anteriormente.

### Análisis de datos

#### **Imágenes satelitales multiespectrales:**

Como primer paso para el análisis, se compusieron las imágenes multiespectrales y se georreferenció la información utilizando el software ArcGis 10.1.

## Establecimiento de lotes y límites:

Todas las acciones referidas al establecimiento de los límites que se utilizaron para los estudios sobre las imágenes se realizaron en formato shapefile y la información se obtuvo y analizó con los programas ArcGis 10.1, EnviEx y GoogleEarth. Asimismo se complementó con la información obtenida de la caracterización del establecimiento, entrevistas no estructuradas y recolección de datos a campo.

## Recorte de imágenes:

A fines de reducir el volumen de datos utilizados se recortaron todas las imágenes utilizadas siguiendo los límites del establecimiento, asimismo para los análisis históricos a nivel lote se recortaron las imágenes generadas a partir del índice de vegetación siguiendo los límites establecidos para cada cuadro. Para esto se utilizaron herramientas disponibles en el software ArcGis 10.1.

## Índices NDVI:

Una vez compuestas las imágenes, se procesaron utilizando las plataformas ArcGis 10.1 y EnviEx. A continuación se utilizó el paquete de herramientas “Image Analyst” para el cálculo de NDVI. Este índice se calcula en base a la siguiente fórmula siguiendo con la información presentada en el marco teórico.

$$\text{NDVI} = ((\text{IR} - \text{R}) / (\text{IR} + \text{R}))$$

- IR = valores de píxel de la banda infrarroja
- R = valores de píxel de la banda roja

Para adaptar la información a los requerimientos del software utilizado, éste calcula los datos (NDVI) de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{NDVI} = ((\text{IR} - \text{R}) / (\text{IR} + \text{R})) * 100 + 100$$

## Análisis NDVI a nivel lote:

Para evitar distorsiones en los índices de vegetación causados por acontecimientos específicos de cada campaña (malezas, patógenos, problemas en la siembra, etc.), se decidió generar un Índice Promedio Histórico por cada lote.

Para esto se trabajó a nivel lote utilizando los índices verdes de los diez años en estudio. Se recortaron las imágenes en base a los límites de los lotes y se descartaron, por lote, las imágenes que no presentaban cobertura vegetal y aquellas que se determinaron como no representativas. Se trabajó con un promedio de cinco imágenes (campañas) por lote.

Se realizó un estudio estadístico de los datos. Para permitir la comparación entre campañas se necesitó trabajar sobre datos relativos. Así, a cada imagen (obtenida a partir de los NDVI y recortada siguiendo los límites del lote) se le aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{NDVI}(r) = \text{NDVI} \times 100 / \text{Media}$$

- NDVI(r): NDVI relativo
- NDVI : la imagen original
- Media: media aritmética obtenida en base a las distribuciones de frecuencia del valor de cada pixel que conforma cada imagen recortada.

Como resultado se obtuvo una imagen por campaña por lote, pero con datos relativos, lo que permite realizar comparaciones entre distintas campañas.

A continuación se promediaron los valores de las imágenes generadas en el punto anterior con lo que se generó un mapa de índice verde histórico por lote. Este mapa fue utilizado en análisis cualitativos como base para la posterior definición de ambientes.

Para su confección se utilizó la fórmula:

$$\text{NDVI}(rh) = \sum \text{NDVI}(r) / n$$

- NDVI(rh): NDVI relativo e histórico
- NDVI(r): NDVI relativo
- n: cantidad de NDVI(r)

Todas las operaciones sobre las imágenes se realizaron con herramientas disponibles en la plataforma ArcGis 10.1.

## Fuentes de información complementaria

---

### Recopilación de datos

#### **Modelos de elevación digital y mapa de pendientes:**

Para la confección de modelos de elevación digital se utilizaron la versión 1 (resolución 90 m) y 2 (resolución 20m) de los modelos ASTER GDEM (The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer ASTER, Global Digital Elevation Model GDEM) obtenidos de la base de datos de “USGS Global Visualization Viewer (GLOVIS)”.

#### **Cartas de suelo:**

Como complemento de la información de base para los análisis se recurrió a cartas de suelo digital de la zona obtenidas del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).

### Análisis de datos

Los datos de estas capas fueron procesados en formato raster y shapefile, según correspondiese, con la plataforma ArcMap 10.1 e integrados al Sistema de Información Geográfica.

Los Modelos de Elevación Digital fueron controlados a campo ya que entre los dos tipos de resolución hubieron discrepancias de relieve relevantes a fines prácticos. Así, se realizaron corroboraciones a campo y se decidió por la utilización del modelo Aster de 90 mt de resolución.

Una vez acondicionadas, las imágenes fueron procesadas con las herramientas “3D Analyst” del software ArcMap 10.1 para análisis de elevación y generación del mapa de pendientes.

## Definición de ambientes de trabajo

### Recopilación de datos

#### Definición preliminar de zonas:

Para la definición de ambientes se utilizó toda la información compilada en el Sistema de Información Geográfica de acuerdo a lo mencionado en los puntos anteriores y se complementó con la información obtenida a partir de las entrevistas con el productor.

#### Control a campo:

Se establecieron zonas de control que fueron chequeadas a campo con la ayuda de un dispositivo GPS y una guía para la clasificación de suelos según aptitud productiva, confeccionada a partir de las “Normas y Principios del Servicio de Conservación de Suelos en los Estados Unidos de América”, basado en patrones edáficos y topofisiográficos (Stolpe, Clasificaciones interactivas, 2012).

A continuación se presenta la guía utilizada para la caracterización de zonas:

Capacidad de Uso de Suelos								
Características	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V	Clase VI	Clase VII	Clase VIII
Aptitud para cereales	Buena	Buena a moderada	Moderada	Limitada	Mala	Mala	Mala	Terreno sin valor agrícola, ganadero o forestal. Sólo para vida silvestre
Fertilidad natural	Buena	Buena	Moderada	Moderada a baja	Moderada a baja	Moderada a baja	Moderada a baja	
Pendiente	0 - 2%	2 - 5%	5 - 8%	8 - 12%	Plano	12 - 30%	30 - 60%	
Profundidad	> 1,0 m	0,6 - 1,0 m	0,4 - 0,6 m	Media a delgada	Delgada	Muy delgada		
Textura	Franca	Franco arenosa a franco arcillosa	Arenosa a limosa	Arenosa a arcillosa	Arenosa a arcillosa	Arenosa a arcillosa	Arenosa a arcillosa	Dunas áridas, pantano, roquería, etc.
Riesgo de erosión	Sin	Ligero	Moderado	Alto	Sin	Alto	Muy alto	
Denaje	Bueno	Bueno moderado	inperfecto	pobre	Muy pobre	Bueno	Bueno	
Riesgo de Inundación	Ninguno	Ninguno a ocasional	Ocasional	Frecuente	Muy Frecuente	Ninguno	Ninguno	
Pedregosidad superficial	0 - 5%	0 - 10%	0 - 15%	0 - 35%	0 - 35%	0 - 50%	0 - 60%	
Salinidad	Ninguna	Ninguna a ligera	Ninguna a moderada	Ninguna a alta	Ninguna a alta	Ninguna	Ninguna	
Intensidad de uso del suelo	Cultivo muy intensivo	Cultivo intensivo	Cultivo moderado	Cultivo ocasional	Pastoreo intensivo	Pastoreo moderado	Forestal	

Tabla 3.1: Guía para la clasificación de suelos según capacidad de uso (Elaboración propia, 2012).

### Análisis de datos

## Definición de zonas de control:

Como primer paso en la definición de ambientes se cruzó la información contenida en el SIG y se realizaron análisis de interpretación visual con lo que se establecieron zonas de similares características y comportamientos, se delimitaron en una capa shapefile y se definieron como zonas de control.

## Control a campo:

Se controlaron las zonas a campo con la ayuda de un dispositivo GPS y la guía de aptitud productiva según se menciona anteriormente, los datos resultantes del relevamiento se utilizaron asignar a cada zona una clase entre I a VIII de acuerdo a su capacidad de uso agronómico. Estas clases a su vez se subdividieron en subclases para denotar los problemas dominantes presentes en el suelo, según la siguiente clasificación:

Clases:

- Arables: I a IV
- No arables: V a VIII

Subclases:

- e = involucra todos los riesgos de erosión o erosión pasada, fenómenos de escurrimiento superficial, pendientes excesivas del suelo.
- w = Considera problemas de sobresaturación del suelo, de drenaje o inundación.
- s = Refiere a todas las limitantes del suelo (profundidad, texturas extremas, pedregosidad, salinidad, etc.).

Los resultados del control a campo fueron añadidos al SIG como otra capa de información.

## Definición de ambientes de trabajo:

Se realizó un nuevo cruzamiento de información y se agruparon nuevamente las zonas de acuerdo a sus características y comportamiento, así como por su potencial capacidad agronómica. Esta tarea se realizó por medio un análisis de interpretación visual y como resultado se obtuvo la capa final con los límites de los ambientes de trabajo, clasificados de acuerdo a su aptitud productiva. Los resultados se presentaron en forma de capa shapefile y con ella se confeccionó el mapa definitivo.

## Cuantificar el beneficio económico

---

### Análisis FODA

Como complemento del marco teórico se realizó un análisis FODA como primera aproximación a la factibilidad de aplicar prácticas relacionadas a AP sobre el establecimiento en estudio. Para esto se recurrió a entrevistas no estructuradas con el productor de donde se desprendió parte de la información utilizada en el análisis, la información sobre los factores externos a la empresa fueron compilados de fuentes pertinentes de acuerdo a los requerimientos específicos.

### **Análisis de impacto económico:**

Una vez determinadas las zonas de manejo se estudiaron los requerimientos económicos de un cambio en los procesos productivos acorde a los requerimientos de un manejo diferencial por ambientes. Como primer paso se trabajó en forma conjunta con el ingeniero agrónomo responsable del establecimiento en la definición de tres manejos diferenciales y se establecieron dos tipos de rotación y la implementación de pasturas permanentes.

En base a las rotaciones planteadas se intentó determinar el impacto económico de las mismas, pero por la alta variabilidad de los rendimientos y requerimientos de capital, sumado a la falta de información precisa sobre diferencias en los rindes se llegó a la conclusión de que no es viable, a los fines de este trabajo, un estudio profundo sobre dichos factores. De esta forma se decidió trabajar solo con los costos de implementación del proyecto.

Los datos monetarios utilizados fueron obtenidos de los registros contables del productor actualizados según el tipo de cambio vigente y el impacto económico se definió en mayor medida por cambios en los procesos de la empresa.

## Capítulo IV

### Desarrollo

---

## Generalidades

---

“El análisis de imágenes satelitales es uno de los métodos más utilizados para delimitar ambientes o zonas de diferente productividad a escala de lote de producción. Para esto, se utiliza generalmente el índice verde normalizado (IVN) construido a partir de la reflectancia en las bandas correspondientes al rojo y al infrarrojo cercano. Los resultados obtenidos a partir de esta metodología son generalmente satisfactorios” (Torroba & Menéndez, Utilidad de diferentes combinaciones de bandas para la delimitación de ambientes en un establecimiento agropecuario de la Región Pampeana Argentina, s.f.).

El avance de las tecnologías de información orientadas al uso eficiente de recursos en lo que al agro respecta, ha conducido al surgimiento de la Agricultura de Precisión (AP), utilizando información geográfica y tecnologías asociadas para manejar la variabilidad espacial y temporal de los factores productivos, mejorando el rendimiento y sustentabilidad de la empresa agraria.

Para iniciarse en las prácticas de AP es necesaria la determinación de ambientes en los que poder aplicar prácticas diferenciales, con el fin de aumentar la eficiencia en el uso de insumos y sustentabilidad del sistema productivo. En este sentido, se procedió a realizar un estudio de índices de vegetación como primera aproximación a la delimitación de ambientes para el establecimiento. A continuación se analizaron modelos de elevación digital, se delimitaron zonas y se las chequeo a campo. Toda la información recolectada fue ordenada mediante un SIG utilizando principalmente la plataforma ArcMap. Los datos fueron respaldados con entrevistas a los actores del emprendimiento productivo. Una vez que se conto con toda la información necesaria se delimitaron ambientes de trabajo y se presentaron en un para clasificado.

Se decidio utilizar esta técnica basados en la baja productividad del establecimiento con respecto a rendimientos promedio zonales y el bajo costo del proceso, así como el aporte de información histórica que genera.

## Acondicionamiento de imágenes:

---

Para el presente trabajo se utilizaron básicamente 10 imágenes Landsat 5, de las cuales se obtuvieron los índices de vegetación, dos modelos de elevación digital y dos imágenes de alta resolución para análisis complementarios y presentación de la información.

### Determinación de tipo de imágenes a utilizar:

Como primer paso para la caracterización de ambientes, se decidió trabajar sobre análisis de índice de vegetación en base a imágenes satelitales Landsat 5 debido a las características técnicas expuestas en el marco teórico. Asimismo se tuvo en cuenta que hay un registro histórico de las mismas al que se puede ingresar de forma gratuita en la web.

### Fechas de imágenes:

Se analizaron imágenes de distintas campañas en distintos meses para determinar la mejor época del año sobre la cual calcular los Índices. Este análisis se basó en la observación de distintas imágenes y de acuerdo al volumen y vigor de masa vegetal se determinó que las imágenes de mayor relevancia son las tomadas en Febrero para la campaña estival, y en Septiembre para cultivos invernales.

De acuerdo a esta información se procedió a la obtención de imágenes de 11 años consecutivos ubicadas en dicho rango de fechas, estos irán de 2001 a 2011. Las imágenes fueron obtenidas del catálogo de imágenes provisto por el INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil). En función de la disponibilidad en el catálogo y cobertura de nubes se trabajó en base a las siguientes imágenes (tabla 4-1).

Path	Row	Plataforma	Fecha
228	85	L5	19/02/2001
228	85	L5	06/02/2002
228	85	L5	01/02/2003
228	85	L5	15/03/2004
228	85	L5	13/01/2005
228	85	L5	17/02/2006
228	85	L5	24/03/2007
228	85	L5	23/02/2008
228	85	L5	25/02/2009
228	85	L5	27/01/2010
228	85	L5	15/02/2011

Tabla 4.1: Detalle Imágenes Landsat (Elaboración propia, 2012)

A continuación (imagen 4-2) se presentan las imágenes Landsat 5 utilizadas para este trabajo, las mismas se presentan con la combinación de bandas “Falso color” (correspondiente a las bandas 6,5,2).

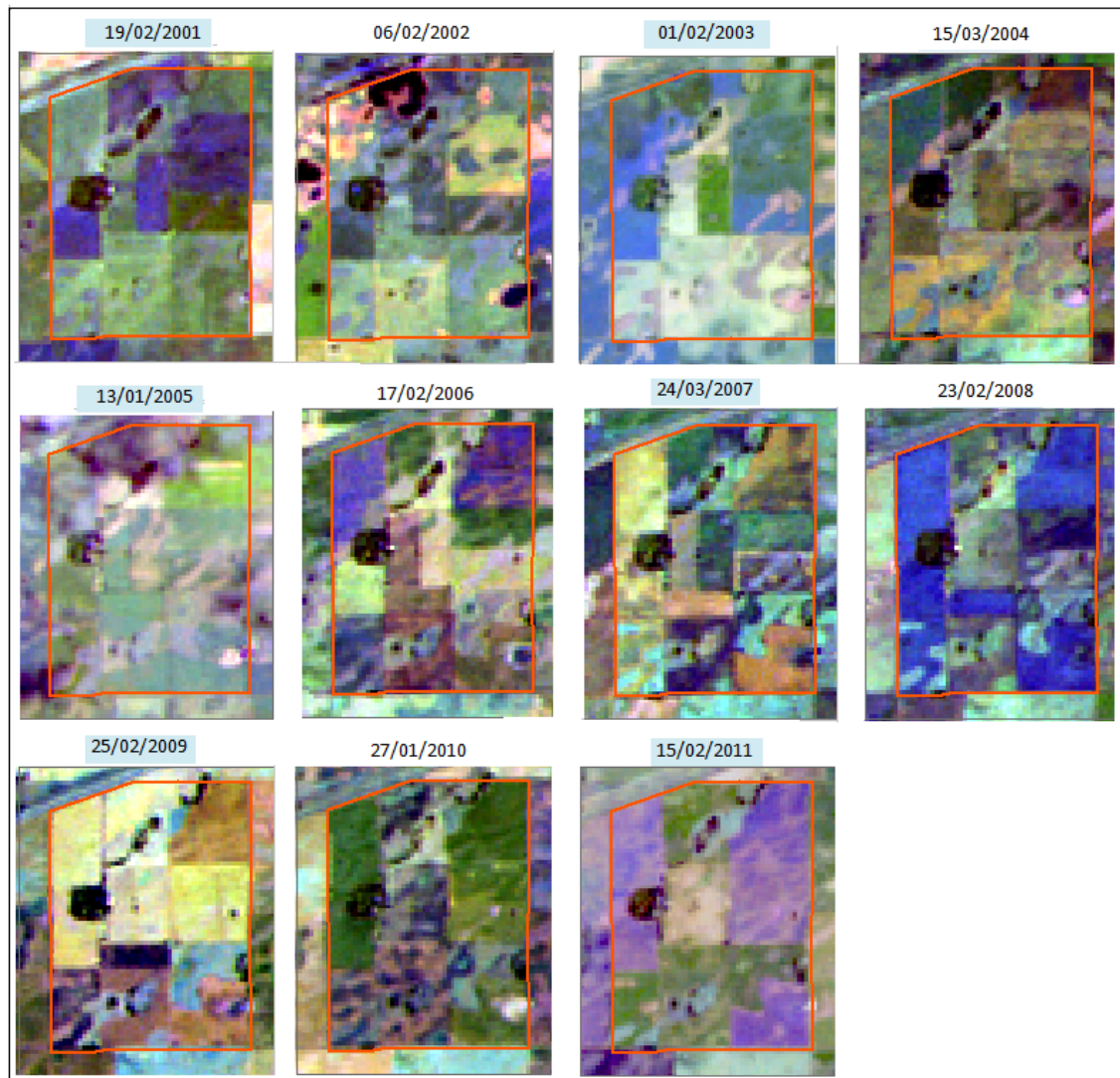


Figura 4.2: Imágenes Landsat 5 (Elaboración Propia, 2012).

### Codificación:

Una vez descargadas las imágenes se procedió a asignarles un código que permita identificarlas claramente.

Teniendo esto en cuenta, se asignó a cada imagen el siguiente código:

Path\_Row\_Plataforma\*\_AñoMes\*\*Día

Ej.: 228\_085\_L5\_2001SEP02

\*Plataforma: se asignó la primera letra del nombre del satélite, L para Landsat y número de modelo, en el caso de las imágenes utilizadas "5".

\*\*Mes: se asignaron sólo las tres primeras letras.

## Composición de imágenes multiespectrales y recorte

A continuación se procedió a componer las bandas de acuerdo a los requerimientos de al algoritmo que se utilizará para el cálculo del NDVI. Para esta tarea, se utilizó el software ArcMap, generando imágenes multiespectrales a partir de las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7.

Una vez compuestas las bandas se recortaron las imágenes, de modo de reducir la carga de datos que deberá procesar tanto el software como el operario. Para ello se realizó un buffer de aproximadamente cuatro kilómetros alrededor del perímetro del establecimiento. El mismo acotó el análisis a una superficie de 9,000 hectáreas, reduciendo considerablemente el volumen de información.

## Georreferenciación

Para esta tarea se obtuvieron las coordenadas de las esquinas del establecimiento mediante un relevamiento a campo mediante un dispositivo GPS. Una vez que se contó con las coordenadas, se las asignó a las esquinas correspondientes del establecimiento en las imágenes satelitales. De esta forma la información generada a partir de los análisis ráster tendrán una correcta correlación espacial con la realidad. Asimismo se utilizaron imágenes previamente referenciadas para la corrección de distorsiones.

## Delimitación de lotes:

---

Para una mejor delimitación de los lotes, se procedió a la obtención de una imagen satelital de alta resolución obtenida de la plataforma Google Earth. Esta imagen fue levantada con el programa ArcMap y se utilizaron las coordenadas de georreferenciación para asignarle una referencia espacial.

Utilizando información relevada a campo y la imagen, se delimitaron los lotes del establecimiento según están siendo manejados con el actual sistema. Estos se definieron en base a la información obtenida a campo, por entrevistas con el productor e interpretación de las imágenes satelitales, luego se les asignó el número de lote correspondiente. Los límites se generaron en una capa Shapefile de polígonos. Se obtuvo el siguiente mapa (Figura 4.3):

# "Los Medanos"

Lotes Originales



Figura 4.3: Lotes Originales (Elaboración propia, 2012).

## Acondicionamiento de lotes

Mediante el análisis de las imágenes históricas del establecimiento se observó que en ciertos casos, los cultivos no respetaban los límites actuales de los lotes. Esto fue corroborado mediante entrevistas no estructuradas con el productor. Estos manejos diferenciales intra-lote generarían distorsiones en los análisis de NDVI por lote debido a la influencia de suelo descubierto, por ejemplo. Con el fin de minimizar el error, se generaron lotes artificiales para una correcta interpretación de las imágenes.

Asimismo, se procedió a delimitar las zonas no productivas del campo, arboledas y otros elementos que pudieran interferir en los análisis espectrales. A estos lotes artificiales se les asignó el cero como número de lote para simplificar su identificación y excluirlos de los estudios.

De este análisis se obtuvieron los elementos presentes en la imagen 4.4 y se confeccionó el mapa definitivo de lotes final con los cuales se trabajaría a continuación. Como se puede observar en la imagen los lotes 1, 2 y 3 debieron ser divididos en 1, 12, 21, 22, 31 y 32 respectivamente. Asimismo el casco y las zonas arboladas de mayor tamaño fueron identificados con el número cero.



Figura 4.4: Lotes Artificiales (Elaboración propia, 2012).

## Eliminación del efecto bordura

Para el análisis digital de imágenes a nivel lote, se confeccionó un nuevo mapa de los cuadros. Primeramente se determinó, mediante la observación de distintas imágenes, que se podría eliminar el efecto bordura mediante la eliminación del pixel correspondiente al límite entre lotes, coincidiendo por lo expuesto por Torroba. Así se realizó un buffer de 20 metros a los límites de cada lote para corregir posibles distorsiones por ambientes artificiales, perdiendo la menor cantidad de información posible.

Surge así la imagen 4.5, en esta se puede observar los lotes definidos en el punto anterior pero separados estos por una distancia de 40 mt. A esta capa se la denominó "Lotes buffer" y en base a esta se recortaron los mapas de NDVI para los análisis por lote.



Figura 4.5: Lotes buffer (Elaboración propia, 2012).

## Extracción de datos NDVI

Para la determinación de ambientes, del grupo de índices de vegetación existentes se utilizó el índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI. Este se calculó mediante la utilización de las herramientas de “Análisis de Imágenes” disponibles en el software ArcGis, este genera un mapa en formato ráster (imagen) y asignará a cada píxel un valor entre 0 y 200 (ajustándose a la estructura de 8 bits), en base a la siguiente ecuación:

$$\text{NDVI} = ((\text{IR} - \text{R}) / (\text{IR} + \text{R})) * 100 + 100$$

Donde:

IR = valores de píxel de la banda infrarroja

R = valores de píxel de la banda roja

A partir de las imágenes Landsat 5 previamente procesadas se confeccionaron mapas de índice de vegetación para cada campaña, en los once años analizados. A continuación se presentan los mapas obtenidos:

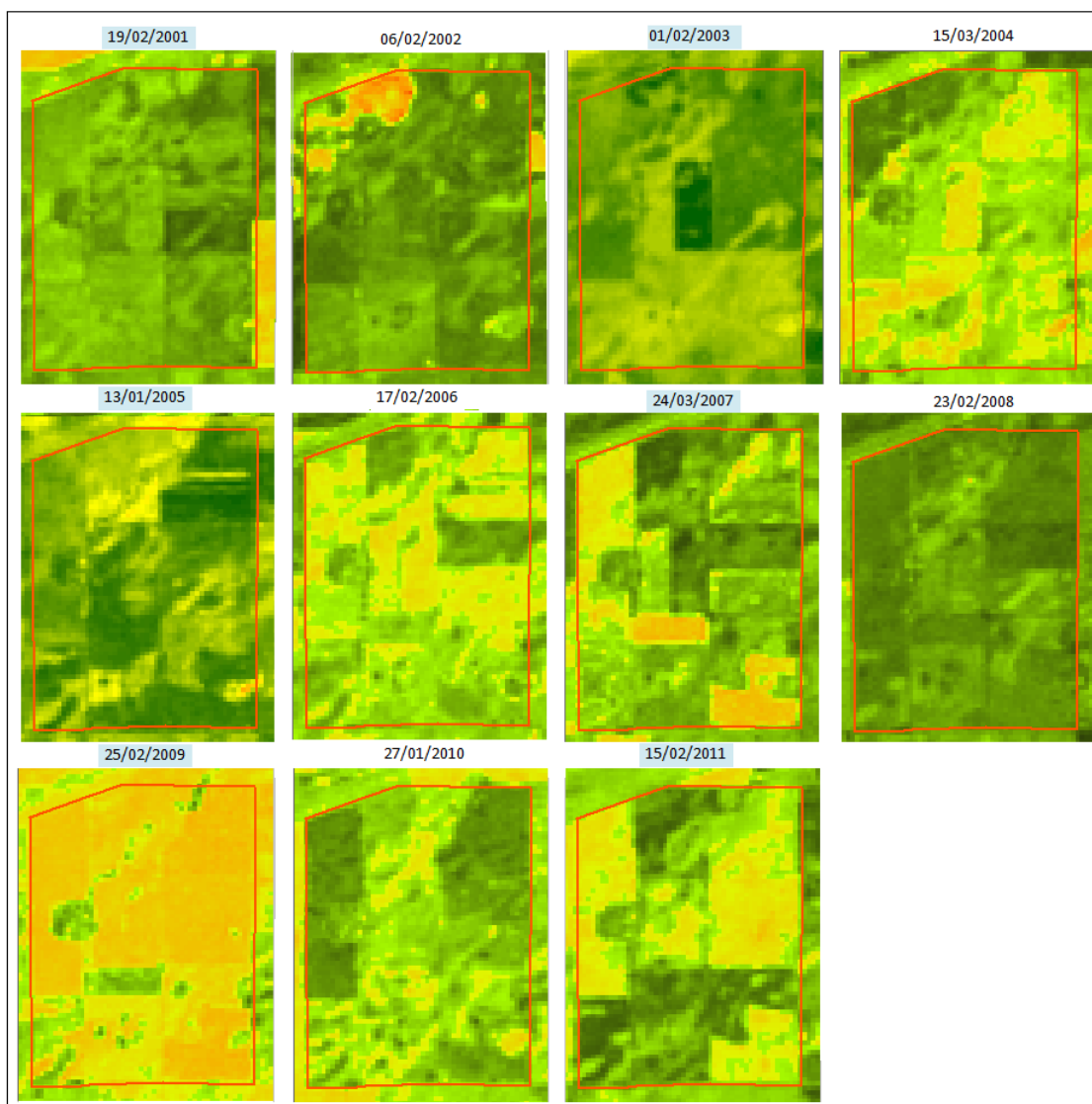


Figura 4.6: Mapas NDVI obtenidos de las imágenes Landsat (Elaboración propia, 2012).  
Battistoni, Jeremías – Licenciatura en Administración Agraria

## Análisis por lote:

---

Para una correcta interpretación de los índices de vegetación y la minimización de las distorsiones que se pudieran producir por condiciones climatológicas, influencia humana y comportamiento de cultivos y patógenos, se decidió trabajar con índices relativos históricos.

Estos índices fueron calculados por lote, para permitir comparaciones entre distintos cultivos y campañas, y se descartaron los años en que los lotes no presentaran cobertura o bien en aquellos en que los lotes se vieron afectados por condiciones excepcionales. Este análisis por lote permitió observar el comportamiento de los lotes con su actual configuración.

### Datos relativos por lote:

Para el análisis por lote, se recortaron los mapas de índice verde en función de la capa de “Lostes buffer”, mostrada en la figura 4.5, con el fin de eliminar el efecto de bordura.

Eliminadas las distorsiones, se extrajeron los valores de cada pixel para cada lote mediante la asociación de una “tabla de contenidos”. Una vez que se conto con la información numérica, organizada en forma distribuciones de frecuencia, se determinó la media de los valores del conjunto de pixeles por campaña, con este dato se pasaron los valores absolutos a relativos mediante la siguiente ecuación:

$$\text{NDVI relativo} = \text{NDVI absoluto} \times 100 / \text{Media}$$

Este proceso se realizó para todos los años analizados por cada lote, de esta forma se pudieron compara las distintas campañas y el comportamiento de distintos cultivos. Una vez que se obtuvieron los mapas relativos de cada año, se los promedió y con esta información se confeccionó un mapa de NDVI relativo e histórico por lote. Este proceso se ejemplifica en la figura 4.7, donde se presenta el comportamiento del lote 9 a través de las campañas seleccionadas como representativas y el mapa “histórico” realizado en base a los distintos NDVI.

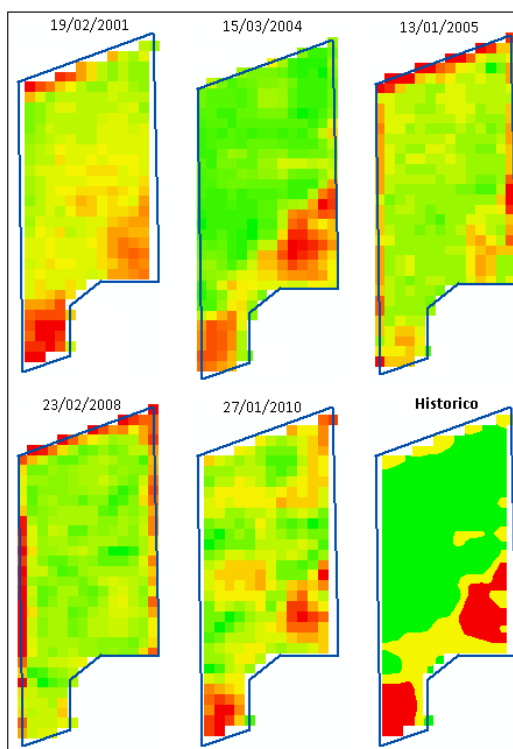


Figura 4.7: Comportamiento de lote 9 y promedio histórico (Elaboración propia, 2012).

### NDVI relativo e histórico por lote:

Obtenidos los valores relativos de NDVI para la serie histórica, se calculó el valor relativo promedio para cada lote, Con estos se confeccionó un nuevo mapa. El mapa resultante representa la forma en que se comporta la variabilidad intra-lote para todo el establecimiento de acuerdo a la serie histórica 2001-2011 para cultivos de verano.

En la imagen 4.8 se puede observar que la variabilidad de los lotes en general presenta zonas de menor rendimiento en que corren en sentido suroeste, acordando con los datos generales de la zona presentados en el diagnóstico. Según estos datos, la zona presenta formaciones medanosas que corren en tal sentido. Para facilitar la interpretación se realizó una clasificación simple en tres categorías: Bueno (verde), Regular (amarillo) y Malo (Rojo), de acuerdo a parámetros estadísticos.

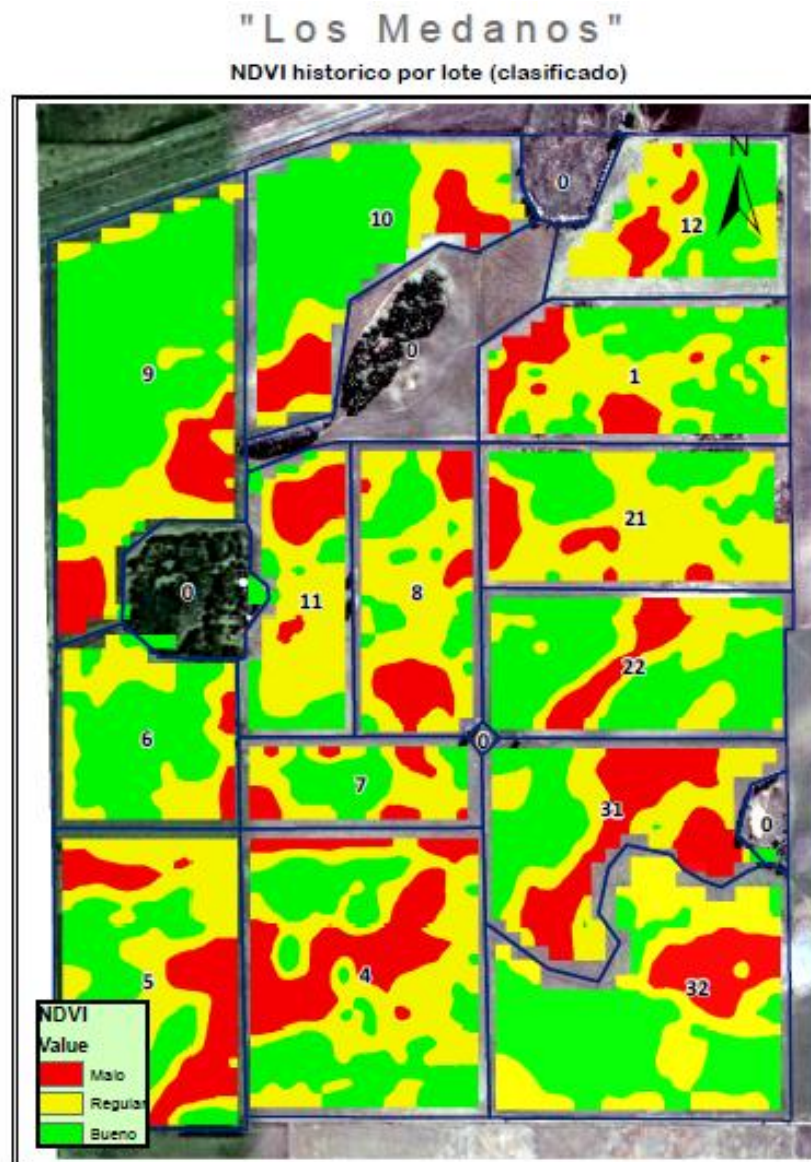


Figura 4.8: NDVI histórico, campo completo (Elaboración propia, 2012).

## Modelo de elevación digital

Para la generación de información topográfica y mapas, se utilizaron dos modelos de elevación digital. La versión 1 y 2 de los ASTER GDEM (The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer ASTER, Global Digital Elevation Model GDEM). El primero con resolución espacial de 90 metros y el segundo con resolución espacial de 20 metros.

Debido a la discrepancia entre los datos presentados en ambos modelos, se corroboraron los datos a campo y se decidió trabajar con el modelo Aster de 90 mt de resolución. Los datos del modelo de 20 mt se encuentran muy distorsionados, probablemente por la elevación del terreno cerca de los alambrados, posiblemente generada por la erosión eólica y consecuente acumulación de material.

Con este modelo se determinó la ubicación de médanos, lomas, media-lomas y bajos. Permitiendo delimitar bajos inundables, sistemas de médanos y determinar la ubicación de bajos susceptibles a explotación agrícola.

En la imagen 4.9 se presentan ambos modelos de elevación, en los que se representaron las diferencias de elevación en una escala de colores que va del Rojo (en las zonas de mayor altura) al Azul (para zonas de menor altura).

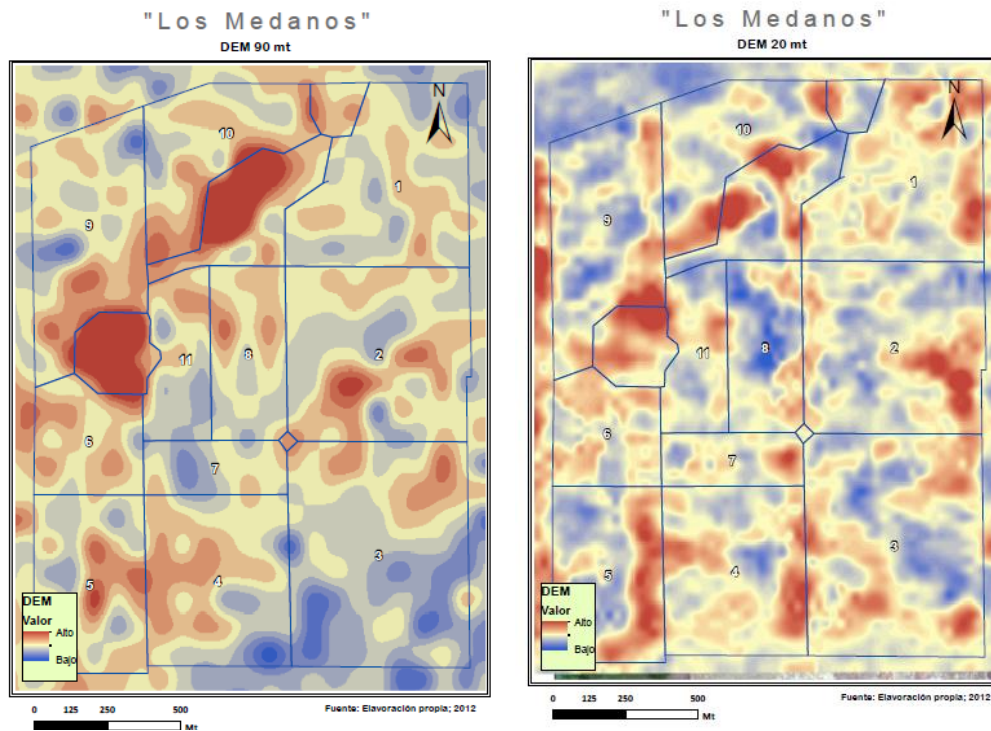


Figura 4.9: Modelos de Elevación Digital (Elaboración propia, 2012).

## Mapa de pendientes

A partir del modelo de elevación se confeccionó un mapa de pendientes. Para ello se utilizó la aplicación 3D Análisis del programa ArcMap. El mapa se clasificó en siete categorías de acuerdo al porcentaje de pendiente. Esta clasificación se basó en las “Normas y Principios del Servicio de Conservación de Suelos en los Estados Unidos de América” y así aportar información para la clasificación de ambientes. El mapa resultante se muestra a continuación.

En la imagen 4.10 se observa el mapa de pendientes del establecimiento, este fue clasificado de acuerdo al ángulo de las pendientes para facilitar la clasificación de ambientes. Se represento en una escala de colores, del Verde Claro (para pendientes de 0 a 2%) al Rojo (para pendientes de 60% a 100%).

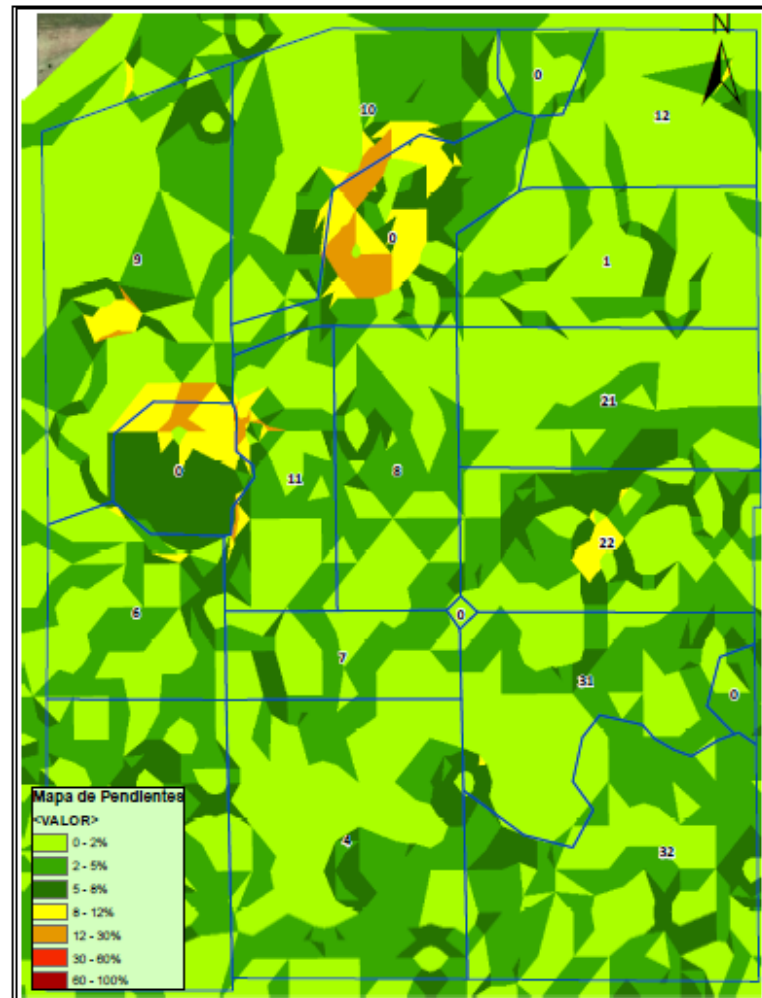


Figura 4.10: Mapa de pendientes (Elaboración propia, 2012)

## Definición de puntos de control

Con los mapas de elevación y el mapa de NDVI histórico, se establecieron zonas de control que luego fueron corroboradas a campo, con la ayuda de un dispositivo GPS y una guía para la clasificación de suelos según su aptitud, adaptada de las “Normas y Principios del Servicio de Conservación de Suelos en los Estados Unidos de América” presentada en la Metodología (tabla 3.1).

En la imagen 4.11 se presenta un mapa de las zonas de control establecidas a partir de la información compilada en anteriormente, estas representan los límites preliminares de los ambientes, los cuales fueron chequeados a campo con la mencionada guía.

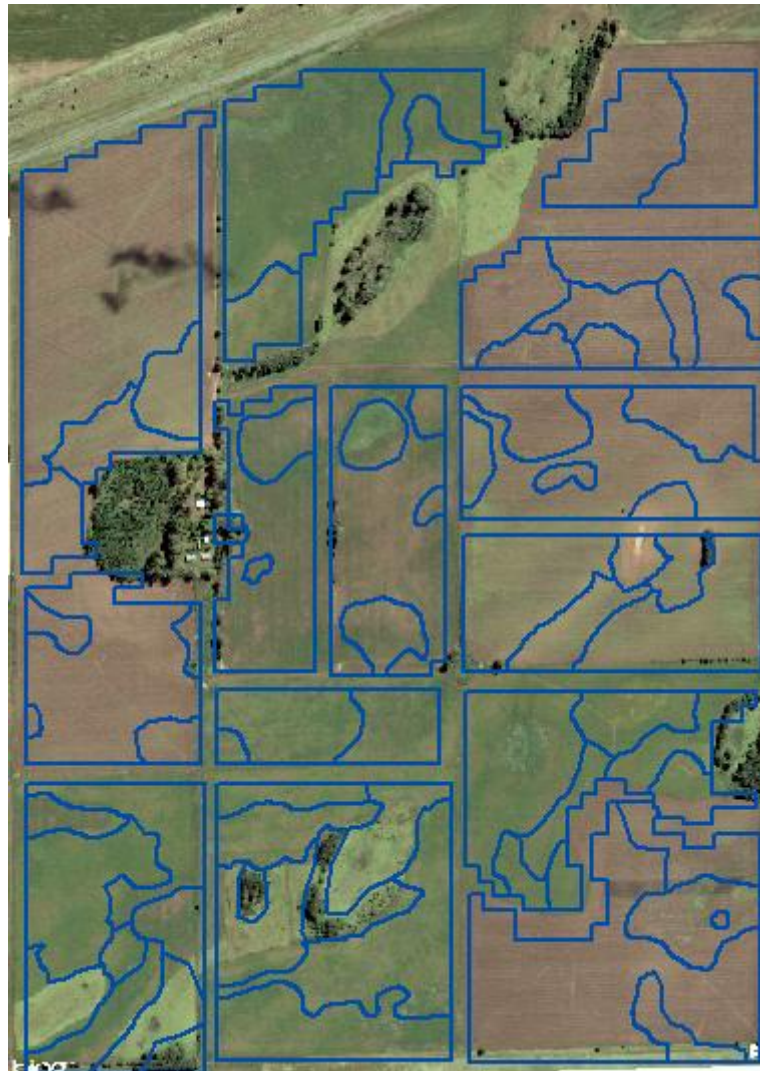


Figura 4.11: Zonas de control (Elaboración propia, 2012)

## Determinación de ambientes de trabajo

---

En base a la información antes presentada y a los relevamientos a campos, se caracterizarán las zonas de control en base a la capacidad de uso del suelo y vigor vegetal, así como comportamiento de las zonas a través de las distintas campañas analizadas. A continuación, imagen 4.12, se presenta el mapa de caracterización de las zonas. Cada ambiente fue clasificado con un color, en base al vigor vegetal y una sigla en cuanto a capacidad de uso y limitantes.

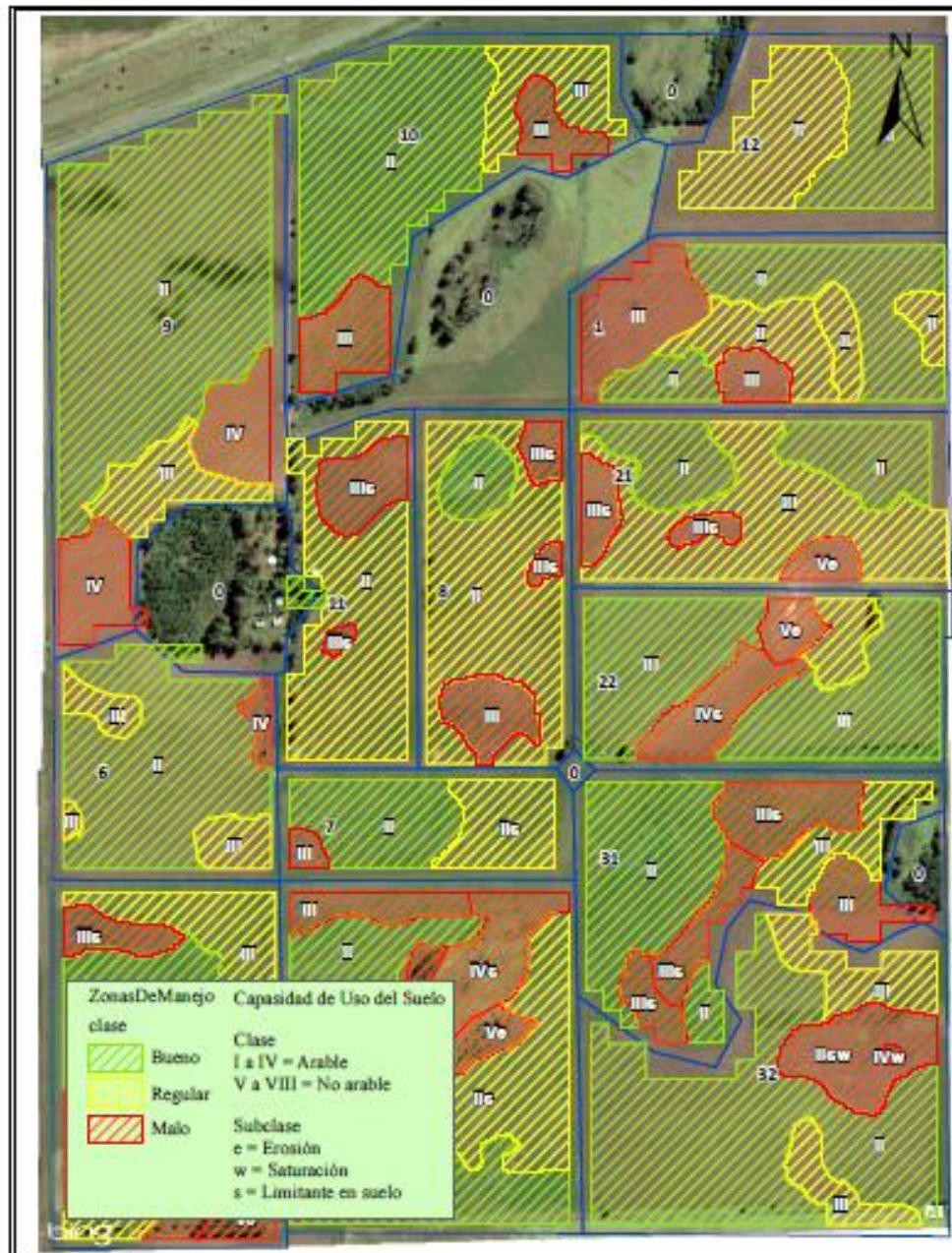


Figura 4.12: Caracterización de ambientes (Elaboración propia, 2012)

## Determinación de ambientes de trabajo

Dada la alta variabilidad detectada en el establecimiento, se agruparon los distintos ambientes en zonas de manejo. En base a la información recopilada, se reconfiguraron nuevos lotes intentando respetar, en la medida de lo posible, las instalaciones disponibles pero acorde a los ambientes detectados, estos se presentan en la imagen 4.12. Cabe aclarar que si bien dentro de cada lote habrá variabilidad, esta presentará ciertas características que permiten un manejo similar. Para esta nueva configuración se tuvieron en cuenta: la presencia de ambientes fijos y dinámicos; la variabilidad entre lotes y las posibles prácticas. Asimismo la configuración fue discutida con el productor en un intento de implementar una configuración de aplicación factible. Estos ambientes de trabajo podrán variar de acuerdo al planteo productivo que se desee realizar y a la estrategia de la empresa.

## "Los Medanos"

Nueva configuración de lotes

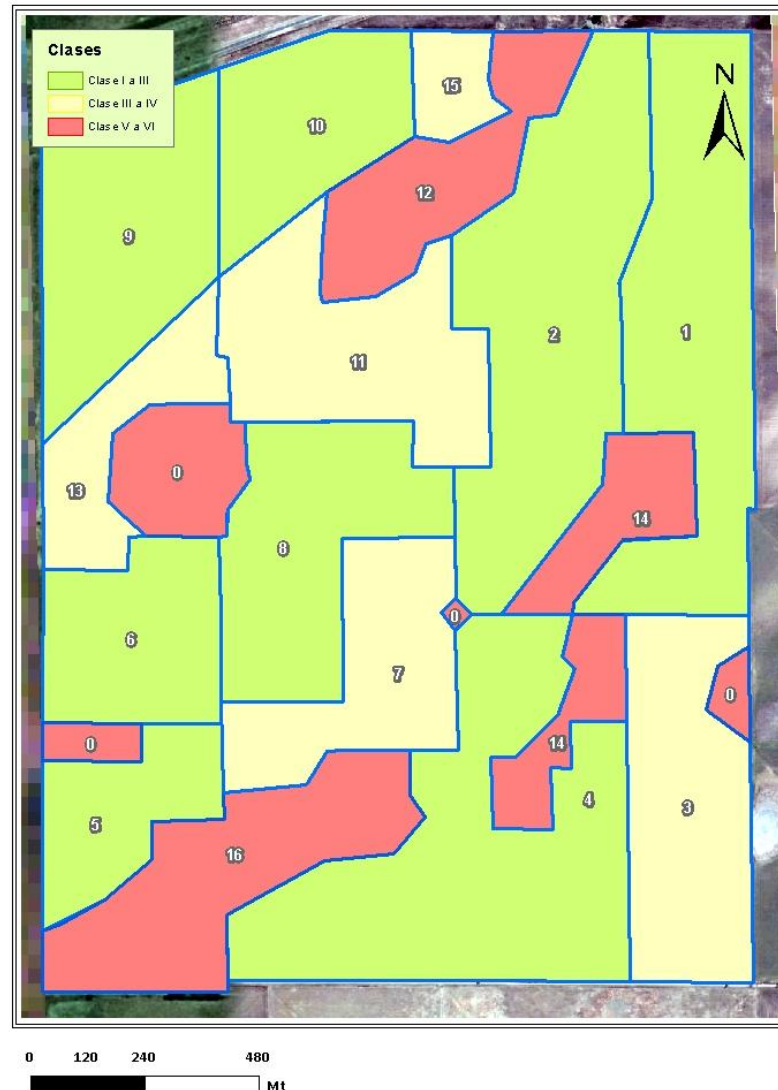


Figura 4.12: Ambientes de trabajo (Elavoracion propia, 2012).

### Ambientes dinámicos y ambientes fijos

Dentro de los conceptos a tener en cuenta en la definición de ambientes se encuentra la naturaleza dinámica de ciertos ambientes en relación a las condiciones climáticas de cada campaña. De acuerdo a los estudios de índice de vegetación realizados, se determinó que ciertos lotes presentan respuestas diferenciales, dependiendo del nivel de precipitaciones. Esto refiere a que, para campañas secas reaccionan de modo distinto que en los años lluviosos. Para estos ambientes se deberán tener en cuenta los milimetrajes de cada campaña para planificar correctamente su manejo (Nosetto & Jobbágy, Ambientación y aplicación variable de insumos en áreas con influencia freáticaAutores, s.f.).

## Variabilidad en los lotes:

La variabilidad presente en el establecimiento tiene relación con las características intrínsecas del terreno y la zona, asimismo se ve afectada por los distintos sistemas de trabajo aplicados históricamente. Cabe señalar que los lotes presentan variabilidad: natural, inducida o bien la suma de ambas.

Como premisa en la determinación de los nuevos ambientes se tuvo en cuenta que:

- a) Las diferencias de rendimiento entre zonas debe ser mayor a las diferencias dentro de la zona.
- b) Los factores limitantes de la zona deben ser los mismos (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2006).

Así, para cada ambiente las prácticas a aplicar se verán diferenciadas por sus objetivos, naturaleza, carácter y frecuencia de aplicación (Luque, Manejo de Suelo, 2004). A modo general se podría decir que las zonas I a III serán aptas para prácticas agrícolas. Las Zonas III a IV serán aptas a explotación ganadera y las zonas de clase V a VI deberían ser manejadas de la forma más sustentable posible, con posible implantación de pasturas permanentes o pradera como método de fijación de médanos y posibilitando una explotación ganadera de bajo impacto.

## Rotación de cultivos:

Una vez determinadas las zonas de manejo y clasificadas en tres categorías (buena, mala y regular), se procedió a trabajar en conjunto con el ingeniero agrónomo responsable del establecimiento para la definición de tres manejos diferenciales. Estos se adaptaron a los principales ambientes determinados en función de las limitantes ambientales y requerimientos económicos de la empresa. Si bien la definición de rotaciones y manejos específicos no se encuentran dentro de los objetivos de este trabajo, fue necesario su planteamiento para facilitar el análisis de impacto económico. De este trabajo se desprendieron los siguientes manejos:

### Ambientes Bueno (Clase I a III):

En relación a las posibilidades ambientales del establecimiento, estos serán los ambientes de mayor importancia agrícola sin descartar el uso ganadero como método de descanso de los suelos y aporte de cobertura. Estos ambientes abarcan principalmente suelos de menor pendiente o bajos con poca probabilidad de inundación. La rotación planteada será:

Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa	Soja	Maíz	Girasol	Trigo
---------	---------	---------	------	------	---------	-------

Tabla 4.2: Rotación para ambientes buenos (Elaboración propia, 2012).

### Ambiente Regular (Clase III a IV):

Abarca ambientes principalmente medanosos o bajos inundables, de mediana pendiente y baja aptitud agrícola. Estos serán destinados principalmente a la actividad ganadera incluyendo verdes en la rotación para generar la mayor cobertura de suelos posible, siempre acorde a las limitantes ambientales de la zona. En esta rotación se incluye un cultivo de girasol para producción de granos por su capacidad de adaptación al tipo de ambiente. La rotación planteada será:

Battistoni, Jeremías – Licenciatura en Administración Agraria

Verdeo/Maíz Tardío	Sorgo	Girasol
--------------------	-------	---------

Tabla 4.3: Rotación para ambientes regulares (Elaboración propia, 2012).

Los verdeos comprenden una distribución inicial de avena, centeno, triticale o moha, los maíces tardíos se utilizarán para pastoreo al igual que los sorgos, estos últimos incluirán variedades tanto graníferas como forrajeras.

#### Ambiente Malo (Clase IV a VI):

Incluyen las formaciones de médanos propiamente dichas donde las posibilidades agrícolas son muy limitadas y las labores con maquinaria presentan mayor dificultad. Estas zonas se destinarán a la implantación de Pasto Llorón, esto permitirá una explotación ganadera limitada actuando principalmente como reserva de pasto y fijación de suelos debido a los fuertes problemas de erosión.

Para el manejo ganadero de los distintos lotes se utilizará la infraestructura disponible en el establecimiento, incluyendo la utilización de alambradas eléctricas, con las que ya se viene haciendo el manejo del pastoreo. De esta forma la nueva configuración del establecimiento no generaría un costo de inversión, solo una adaptación de los procesos ya existentes.

#### Aplicación de la rotación propuesta a la nueva configuración de lotes:

A continuación (tabla 4.4) se presenta la rotación propuesta por lote. La numeración de los lotes corresponde a los lotes definidos en la figura 4.12. Para esta configuración se tuvieron en cuenta los cultivos actualmente implantados en el establecimiento.

Lote	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa	Soja	Maíz	Girasol
2	Maíz	Girasol	Trigo/Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa	Soja
4	Soja	Maíz	Girasol	Trigo/Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa
5	Maíz	Trigo/Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa	Soja	Maíz
6	Maíz	Trigo/Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa	Soja	Matiz
8	Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa	Soja	Maíz	Girasol	Trigo/Alfalfa
9	Maíz	Trigo	Soja	Maíz	Girasol	Trigo/Alfalfa	Alfalfa
10	Sorgo	Soja	Maíz	Girasol	Trigo/Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa
3	Soja	Verdeo/Maíz	Sorgo	Girasol	Verdeo/Maíz	Sorgo	Girasol
7	Alfalfa	Maíz	Girasol	Verdeo/Maíz	Sorgo	Girasol	Verdeo/Maíz
11	Alfalfa	Girasol	Verdeo/Maíz	Sorgo	Girasol	Verdeo/Maíz	Sorgo
13	Maíz	Girasol	Verdeo/Maíz	Sorgo	Girasol	Verdeo/Maíz	Sorgo
15	Sorgo	Girasol	Verdeo/Maíz	Sorgo	Girasol	Verdeo/Maíz	Sorgo

Tabla 4.4: Esquema de rotaciones (Elaboración propia, 2012).

Con la nueva configuración de lotes se obtiene una relación agrícola-ganadera de 40/60 en relación al uso de la tierra, incluyendo en esta relación las tierras no arables destinadas a la implementación de pastizales permanentes. Esto concuerda con las necesidades del productor en base a su estrategia productiva. A diferencia del planteamiento tradicional, con esta distribución de lotes la asignación de tierras para los distintos usos se racionaliza, en función a las limitantes del ambiente.

## Impacto económico:

La determinación del impacto económico de la aplicación de manejos por ambientes se dificulta si se pretende generar flujos de caja proyectados. De acuerdo a las características de la zona, los planteamientos agrícolas son muy variados y dependerán en gran medida de los recursos disponibles por el productor y la estrategia productiva que se escoja. Esto mismo sucede con las prácticas ganaderas. Dicho esto, se medirá el impacto económico en función de la inversión necesaria para la implementación del nuevo planteamiento productivo.

Para la comparación entre proyectos solo será necesario comparar las estructuras económicas diferenciales. De acuerdo a lo planteado, la inversión necesaria sería mínima. Ya que, comparando con el manejo actual, solo se agregarían 22 hectáreas de pasturas permanentes, con un costo total de 1.342 dólares (incluyendo semillas y labores). Pero el nuevo planteamiento requerirá de la reestructuración de los procesos productivos. Los nuevos lotes se dividirán con el uso de alambradas eléctricas ya disponibles en el establecimiento y de gran plasticidad. De este modo, el manejo diferencial no requiere de grandes inversiones sino de cambios en la forma de tomar decisiones. A continuación se presentan los cambios en la estructura productiva del establecimiento, mediante la aplicación de las prácticas diferenciales planteadas:

**Lotes Malos:** se implantarán 22 hectáreas con praderas de pasto llorón, algunas de las cuales ya venían siendo usadas históricamente con este fin y a causa del avance de la agricultura mediante tercerización de procesos, habían sido pasadas a explotación agrícola con muy malos resultados económicos. Se pasará de un manejo actual de 25 hectáreas implantadas, de las cuales solo 13 se encuentran bajo explotación, a 47 hectáreas integradas al sistema ganadero. De acuerdo a la información brindada por el encargado del establecimiento, éstas son de gran importancia en épocas de sequía como reserva de pasto y como complemento en la dieta animal.

**Lotes Regulares:** la actual configuración de lotes no considera las limitantes naturales por lo que dentro de las rotaciones no se diferencia entre ambientes. Con la nueva configuración se determinaron 66 hectáreas susceptibles a manejo diferencial basado en sus limitantes. Estos lotes se destinaron a explotación ganadera principalmente, incluyendo en su rotación un cultivo de girasol, por su adaptabilidad a suelos pobres.

**Lotes Buenos:** se identificaron 172 hectáreas susceptibles a explotación agrícola, dentro de cuya rotación se incluyó un cultivo de alfalfa debido a que el establecimiento se encuentra en una zona agrícola-ganadera. Se redefinieron los lotes intentando mantener cierta homogeneidad en los factores geográficos que faciliten el manejo de los cultivos.

En cuanto a la influencia de estas prácticas en los flujos de caja, se esperan aumentos en los rindes agrícolas por la racionalización en el uso del suelo, pero su cuantificación dependerá, en primera instancia, del planteamiento productivo y los rindes a los que se pretenda llegar, lo que estará sujeto a la inversión en insumos que se haga. Y en segunda instancia, de los factores externos a la empresa. De todos modos, de acuerdo a la bibliografía consultada, las diferencias en rentabilidad mediante el uso de manejos por ambientes llega en promedio a un 10%, tanto por ahorro en costos como por aumento en productividad (Bragachini, Méndez, & Scaramuzza, Agricultura de Precisión una realidad en el campo Argentino). El análisis de estas variaciones requerirá un análisis exhaustivo que excede los objetivos de este trabajo.

## Capítulo V

### Conclusión

---

## Conclusión:

El presente trabajo de graduación fue llevado a cabo con el propósito de definir ambientes de trabajo homogéneos en base a herramientas de teledetección para el establecimiento “Los Médanos”, ubicado en Catrillo, provincia de La Pampa, Argentina. A continuación se presenta el mapa de ambientes resultante de la investigación realizada:

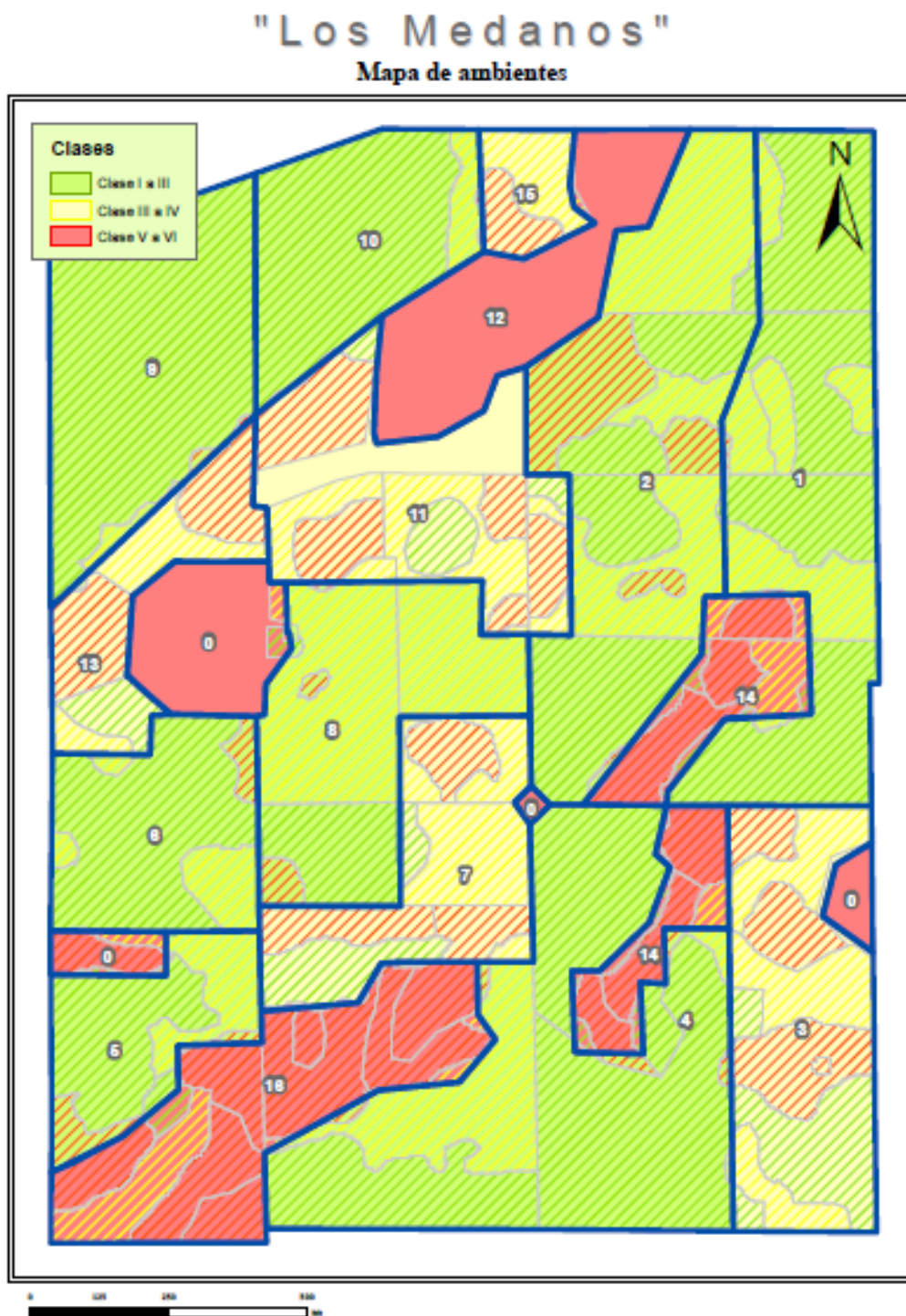


Figura 5.1: Mapa de ambientes (Elaboración propia, 2012).

Luego de recabar toda la información necesaria, se determinó que, por las características del establecimiento, es menester llevar a cabo un manejo por ambientes y una correcta planificación de rotaciones, dejando de lado el manejo tradicional por lote.

Como resultado del análisis realizado, fueron detectados fuertes problemas de erosión producto de un mal manejo a través de los años, con gran influencia por voladura de suelos. Se determinó que los bajos rindes promedio del establecimiento son fruto de la influencia de zonas de bajo valor agrícola, por lo que, un manejo racional aumentaría los rindes y márgenes al diferenciar zonas de bajo, medio y alto valor. Fueron detectados ambientes bien definidos de alta productividad en llanos y bajos y formaciones medianosas de bajo valor agrícola, no aptos para labranza. En base a esto se confeccionó un mapa de nuevos lotes para racionalizar las actividades y en base al cual se podrán planificar rotaciones y manejos. Dentro de estos, la variabilidad en productividad podrá ser manejada en forma diferencial. Se los definió en tres categorías básicas: Bueno, Malo y Regular, de acuerdo a aptitud agrícola y se planteó un manejo diferencial para cada uno.

Podemos concluir que el establecimiento se enfrenta a un cambio de paradigma productivo, al pasar de una producción basada en el arrendamiento, que encuentra su rentabilidad en la escala (superficie sembrada), a un manejo con recursos propios, de baja escala, que encontrará su rentabilidad en potenciar las características de cada ambiente, reduciendo costos y maximizando rendimientos.

Teniendo esto en cuenta, se presentan las herramientas de detección remota de ambientes como una fuente eficiente de información para la toma de decisiones estratégicas en cuanto al manejo de los recursos. La fotointerpretación dio muy buenos resultados a la hora de definir los ambientes y al generar una nueva perspectiva sobre los recursos disponibles, lo que hará posible la incorporación de tecnología de procesos a muy bajo costo.

De acuerdo a los resultados del trabajo y comparándolos con la estrategia planteada por el productor antes del mismo, se determinó que el establecimiento presenta características productivas que permitirán realizar una producción agrícola ganadera en una proporción de 60/40 respectivamente en relación al uso de la tierra, en contraste con el planteamiento inicial de 20/80. Se aumentará así la superficie agrícola y se destinarán a ganadería los ambientes de menor valor. Asimismo se pudo diversificar la rotación de cultivos e incorporar al sistema superficie no utilizada hasta el momento.

La definición de ambientes es una actividad dinámica e influenciada por una variedad de factores, este trabajo representa el puntapié inicial para un manejo diferencial del establecimiento y una racionalización en el uso de sus recursos, principalmente del factor suelo. De aplicarse el conjunto de prácticas presentado, se debería considerar la posibilidad de:

- Realizar muestreos intensivos de suelo, en base a los ambientes establecidos, para definir una estrategia productiva.
- Complementar la información disponible con el uso de monitores de rendimiento, necesarios para determinar en forma más precisa los límites entre ambientes.
- Realizar un análisis económico exhaustivo de la estrategia productiva con el fin de determinar las prácticas de mayor rentabilidad y puntos de equilibrio por ambiente.
- Complementar el manejo diferencial con árboles de decisión por campaña de acuerdo a las condiciones externas a la empresa.

Asimismo la variabilidad temporal inducida por las distintas técnicas de manejo pueden hacer variar los ambientes a medida que pase el tiempo, por lo que no se debe olvidar que los datos son temporales y deberán estar en constante evaluación y, de ser necesario, reconfiguración para adaptar las practicas a las condiciones variables del campo.

# Anexos

## Anexo 1:

Características	Capacidad de Uso de Suelos								Clase VIII
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V	Clase VI	Clase VII	Clase VIII	
Sequia de verano	corta duración	corta duración	larga duración	muy larga duración	variable	variable	variable	variable	Terreno sin valor agrícola, ganadero o forestal. Sólo para vida silvestre
Días libres de heladas	> 150	100 - 150	80 - 100	50 - 80	> 80	> 50	> 50	> 50	
Aptitud para cereales	buena	buena a moderada	moderada	limitada	mala	mala	mala	mala	
Aptitud para chacras	buena	buena a moderada	limitada	mala	mala	mala	mala	mala	
Aptitud para viñas	buena	buena	buena	limitada	mala	mala	mala	mala	
Aptitud para frutales	buena	buena a moderada	limitada	mala	mala	mala	mala	mala	
Fertilidad natural	buena	buena	moderada	moderada a baja	moderada a baja	moderada a baja	moderada a baja	moderada a baja	
Pendiente	0 - 2%	2 - 5%	5 - 8%	8 - 12%	plano	12 - 30%	30 - 60%	30 - 60%	
Profundidad	> 1,0 m	0,6 - 1,0 m	0,4 - 0,6 m	0,2 - 0,4 m	media a delgada	delgada	muy delgada	muy delgada	
Textura	franca	franco arenosa a franco arcillosa	arenosa a arcillosa	arenosa a arcillosa	arenosa a arcillosa	arenosa a arcillosa	arenosa a arcillosa	arenosa a arcillosa	
Riesgo de erosión	sin	ligero	moderado	alto	sin	alto	muy alto	muy alto	
Drenaje	bueno	bueno moderado	imperfecto	pobre	muy pobre	bueno	bueno	bueno	
Nivel de agua subterránea	profundo	profundo a moderado	moderado	moderado a superficial	superficial	profundo	profundo	profundo	
Riesgo de inundaciones	ningún	ningún a ocasional	ocasional	frecuente	muy frecuente	ningún	ningún	ningún	
Pedregosidad superficial	0 - 5%	0 - 10%	0 - 15%	0 - 35%	0 - 35%	0 - 50%	0 - 60%	0 - 60%	
Salinidad	ninguna	ninguna a ligera	ninguna a moderada	ninguna a alta	ninguna a alta	ninguna	ninguna	ninguna	
Intensidad de uso del suelo	cultivo muy intensivo	cultivo intensivo	cultivo moderado	cultivo ocasional	pastoreo intensivo	pastoreo moderado	forestal	forestal	Dunas áridas, pantanos, roqueríos etc.

Guía para la clasificación de suelos según Capacidad de Uso. (Stolpe, Clasificaciones interactivas, 2012).

## Anexo 2:

Uso de suelo (ha)								
Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
<b>Llorón</b>	47	47	47	47	47	47	47	238,6
<b>Agrícola</b>	139,5	147,8	116,7	108	95,8	95,8	111,5	
<b>Ganadero</b>	146,1	137,8	168,9	177,6	189,8	189,8	174,1	
	285,6	285,6	285,6	285,6	285,6	285,6	285,6	Promedio
<b>Agrícola %</b>	49	52	41	38	34	34	39	41
<b>Ganadero %</b>	51	48	59	62	66	66	61	59

Uso del suelo según rotación planteada, proporción Agrícola/Ganadera. (Elaboración propia, 2013)

## Bibliografía

---

- Araya Morales, E. (2009). Manual de procesos en fotografías aéreas e Imágenes de satélite. San José, Costa Rica: Proyecto Microcuenca Plantón - Pacayas.
- Argentino, S. G. (2012). Recuperado el 2012, de <http://www.segemar.gov.ar/>
- Baños, A., & Goenaga, T. (2003). Metodología para la evaluación económica de un proyecto de Agricultura de Precisión. Buenos Aires, Argentina: Instituto Universitario IDEA.
- Bosch, F. (s.f.). Agroclim.com.ar. Recuperado el 2012, de Manejo por ambientes: <http://www.agroclim.com.ar/2011/10/06/manejo-por-ambientes/>
- Bragachini, M., A., V. M., & Méndez, A. (2000). TECNOLOGÍA DE APLICACIÓN VARIABLE DE INSUMOS (VRT). INTA Manfredi: Proyecto Agricultura de Precisión.
- Bragachini, M., Méndez, A., & Scaramuzza, F. (s.f.). Agricultura de Precisión una realidad en el campo Argentino. Manfredi, Argentina: INTA Manfredi.
- Casagrande, G., Vergara, G., & Bellini, Y. (s.f.). Cartas Agroclimáticas de la Provincia de La Pampa (Argentina). EEA INTA Anguil; Universidad Nacional de La Pampa.
- Ciampagna, G. (2011). Agricultura de precisión. En G. J. Ing. Ciampagna, Sistemas de Información Geográfica (Apuntes de clase). Córdoba.
- Doerge, T. (1999). Site-Specific Management Guideline. Pioneer Hi-Bred International, Inc.
- ESRI. (s.f.). ArcGIS Resource Center. Recuperado el 2011, de <http://help.arcgis.com>
- Gestion de Precisión Agrícola. (s.f.). Recuperado el 2011, de Gestion de Precisión Agrícola: <http://www.gestiondeprecision.com.ar>
- Gracia, E., & Flego, F. (2011). Agricultura de Precisión. <http://www.palermo.edu/ingenieria>.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2006). Agricultura de Precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Montevideo.
- INTA. (2002). Caracterización de unidades productivas en la provincia de La Pampa. Recuperado el 2011, de <http://www.inta.gov.ar/pro/radar/riap/zonasagro/anguil/desczonas/planicem edanosa/subzona6a.htm>
- INTA. (s.f.). Red de Agricultura de Precisión. Recuperado el 2011, de [www.agriculturadeprecision.org](http://www.agriculturadeprecision.org)
- Lantada Zarzosa, N., & Núñez Andres, M. A. (2002). Sistemas de Información Geográfica, Prácticas con ArcView. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya. SL.
- Luque, S. F. (2004). Manejo de Suelo. Apuntes de Clase. Córdoba, Argentina: Lic. en Administración Agraria, Universidad UES21.
- Marcelo D. Noretto, E. G. (s.f.). Ambientación y aplicación variable de insumos en áreas con influencia freática. Recuperado el 2012, de <http://www.planetasoja.com.ar/index.php?sec=31&tra=39255&tit=39256>
- Monge Garro, R., & Arce Bogantes, A. (2012). PRESENTACIÓN DEL PROYECTO DE ELABORACIÓN DE UNA GUIA TECNICA PARA GEOREFERENCIAR PLANOS DE AGRIMENSURA. Registro Inmobiliario de Costa Rica.

- Proietti, F. (2003). Evaluación económica -financiera sobre la implementación de técnicas de agricultura de precisión.
- Proyecto Agricultura de Precisión INTA Manfredi. (2011). PERCEPCIÓN REMOTA. Recuperado el 2011, de <http://www.agriculturadeprecision.org/>
- Quiroga, A., & Pérez Fernández, J. (2008). El cultivo de girasol en la región semiárida pampeana. EEA INTA Anguil, La Pampa : INTA.
- Scribano, A. (2002). Introductorio al Proceso de Investigación en Ciencias Sociales.
- Sebem, E., & González Rivera, C. (2005). Aportaciones de la teledetección en el desarrollo de un sistema metodológico para la evaluación de los efectos del cambio climático sobre la producción de las explotaciones agrarias. MADRID: E.T.S.I. Agrónomos (UPM).
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2004). Primer Inventario de Bosques Nativos, Manual de teledeteccion.
- Servicio Geologico Minero Argentino. (2012). Recuperado el 2012, de <http://www.segemar.gov.ar/>
- SRGIS Geología y Geomática Ltda. (2005). Guía básica sobre Imágenes Satelitales y sus productos.
- Stolpe, N. B. (2012). Clasificaciones interactivas. Chillán, Chile: Depto. de suelos, Fac. de Agronomía, Universidad de Concepción.
- Torroba, F., & Menéndez, F. (s.f.). Utilidad de diferentes combinaciones de bandas para la delimitación de ambientes en un establecimiento agropecuario de la Región Pampeana Argentina. Buenos Aires, Argentina: AACREA, Asociación de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola.
- Zerda, D. H. (2004). Manual de Teledetección.

## Formulario descriptivo del Trabajo Final de Graduación

---

### Identificación del Autor

Apellido y nombre del autor:	Battistoni Jeremias
E-mail:	<a href="mailto:bmjere@gmail.com">bmjere@gmail.com</a>
Título de grado que obtiene:	Licenciado en Administración Agraria

### Identificación del Trabajo Final de Graduación

Título del TFG en español	Definición de ambientes mediante herramientas de detección remota.
Título del TFG en inglés	Management zones definition through the use of remote sensing tolos.
Tipo de TFG (PAP, PIA, IDC)	PAP
Integrantes de la CAE	<b>Talbot Lorena y Reyes Carlos</b>
Fecha de último coloquio con la CAE	09/04/2013
Versión digital del TFG: contenido y tipo de archivo en el que fue guardado	Pdf y Word

### Autorización de publicación en formato electrónico

Autorizo por la presente, a la Biblioteca de la Universidad Empresarial Siglo 21 a publicar la versión electrónica de mi tesis. (marcar con una cruz lo que corresponda)

### Autorización de Publicación electrónica:

- Si, inmediatamente
- Si, después de ..... mes(es)
- No autorizo

  
 Firma del alumno