



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba



FCA

Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Metodos cuantitativos para la investigación agropecuaria

Análisis exploratorio de datos multiespectrales sobre áreas dedicadas a la ganadería extensiva en el norte de la provincia de Córdoba.

Autores:

Laudin, Fernando

Navarro, Francisco

Valenti, Lucas

Tutor:

Ing. Agr. Nolasco, Miguel

Asesor técnico:

Ing. Agr. Giannini Kurina, Franca



AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor de trabajo Miguel Nolasco por la dedicación, paciencia, predisposición a enseñar y ayuda constante que nos permitió concluir correctamente éste desafío. A Franca Giannini por su apoyo y asesoramiento.

A Pablo Laudin, encargado del Establecimiento “Las Lomitas”, por permitirnos trabajar en su propiedad y estar a disposición para brindarnos la información necesaria.

A los docentes del Área de Consolidación de Métodos Cuantitativos para la Investigación Agropecuaria por sus conocimientos brindados y darnos la posibilidad de trabajar en su área.

A nuestras Familias por el apoyo incondicional, nuestros compañeros por ser parte de esta etapa de crecimiento educativo.

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba por darnos la oportunidad de formarnos como profesionales.

ÍNDICE DE CONTENIDOS:

AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN	6
PALABRAS CLAVES.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
Propósito general del presente trabajo	7
Estado actual de la ganadería en Córdoba, Argentina.....	7
Problemáticas en el manejo de la alimentación en sistemas extensivos.....	8
Antecedentes de aplicación de información satelital en ganadería.	9
Introducción al Sensoramiento Remoto:.....	9
Información general del satélite LANDSAT-8	11
OBJETIVOS.....	13
OBJETIVO GENERAL.....	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
MATERIALES Y MÉTODOS	13
Área de estudio.....	13
Caso de estudio “LAS LOMITAS”	15
Ambiente.....	19
Fisiografía	19
Clima	20
Suelos	21
Vegetación natural.....	22
Datos multiespectrales	23
Índices derivados de datos espectrales	23
Análisis de conglomerados.....	24
Segmentación de datos espectrales	24

Clasificación de segmentos:.....	25
Caracterización de grupos.....	25
Muestreo de datos a campo	26
Análisis de componentes principales	26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
Segmentación de datos espectrales y clasificación	28
Determinación de las condiciones vegetativas	30
Análisis de componentes principales	33
Análisis de agrupamiento jerárquico	34
CONCLUSIONES	36
BIBLIOGRAFÍA.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: LANDSAT-8.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 2: PRECIPITACIONES Y RÉGIMEN HÍDRICO.....</i>	<i>20</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Fig. 1: Mapa de densidad de ganado bovino por departamento.....</i>	<i>8</i>
<i>Fig. 2: Mapa de la provincia de Córdoba.</i>	<i>14</i>
<i>Fig. 3: Provincia de Córdoba con sus respectivas ZAH.....</i>	<i>15</i>
<i>Fig. 4: Establecimiento Las Lomitas en la localidad de Huascha.....</i>	<i>16</i>
<i>Fig. 5: Delimitación de Potreros en el establecimiento "Las Lomitas".....</i>	<i>17</i>
<i>Fig. 6: Sistema Silvopastoril de pastura Gattón Pannic.....</i>	<i>18</i>
<i>Fig. 7: Desmonte selectivo mediante rolado mecánico.....</i>	<i>19</i>
<i>Fig. 8: Distribución mensual de las precipitaciones.....</i>	<i>21</i>
<i>Fig. 9: Tipos de suelo presente en el establecimiento.....</i>	<i>22</i>
<i>Fig. 10: Gráfico de siluetas.....</i>	<i>29</i>
<i>Fig. 11: Segmentación de objetos.....</i>	<i>30</i>
<i>Fig. 12: Biplot del Análisis de Componentes Principales.....</i>	<i>33</i>
<i>Fig. 13: Dendograma de Análisis Conglomerados.....</i>	<i>34</i>

RESUMEN

El mayor acceso, y uso cada vez más intensivo de variables multiespectrales en el estudio de la superficie terrestre, nos convoca a introducirnos en sus posibles aplicaciones en el ámbito de la producción agropecuaria. Las diferentes formas de relacionar la información contenida en las bandas espectrales de imágenes del satélite Landsat 8 nos permitieron obtener índices representativos que reflejan el verdor o el contenido de humedad. Los índices y las bandas extraídas de la imagen, fueron procesadas con el Software QGIS 2.14 y sometidos a Análisis de componentes principales (ACP) y Conglomerados. Las clases o zonas identificadas fueron contrastadas por verdad de campo. Como resultado, obtuvimos 7 clases diferentes (7 zonas homogéneas) y las diferencias se condicen con los manejos que se realizan en los potreros, entre ellas pastizal diferido, ambientes intervenidos recientemente, estratos arbustivos densamente desarrollados, estratos arbustivos jóvenes (renovales), suelos desnudos y bosques vírgenes.

PALABRAS CLAVES

Variables espectrales. Análisis multivariado. Producción Ganadera. Córdoba.

INTRODUCCIÓN

Propósito general del presente trabajo

El propósito del presente trabajo es introducirnos en los conceptos teórico-prácticos del manejo y análisis estadístico de datos derivados de sensores remotos, con el fin de evaluar su utilidad en la delimitación de zonas homogéneas (en cuanto al estado de la vegetación) del territorio.

Como futuros profesionales y productores, es nuestro deber estar actualizados con las nuevas tecnologías surgentes, para evolucionar en nuestras tareas cotidianas y desempeñarnos adecuadamente en pos de una mejor rentabilidad.

Estado actual de la ganadería en Córdoba, Argentina.

La actividad ganadera bovina Argentina se encuentra actualmente desplazada hacia sistemas con cierto grado de restricción (edáfica, hídrica, entre otras) debido al avance de la frontera agrícola por los mayores beneficios económicos de esta última. En algunos establecimientos estas actividades son complementarias. Este desplazamiento, de la actividad ganadera a otros ambientes, hace necesario ajustar la carga animal con el fin de mantener niveles de producciones adecuados sin comprometer el potencial productivo del recurso natural. Para más información se puede consultar el trabajo realizado por Michelena *et al* (2013).

Actualmente el stock bovino a nivel país asciende a más de 52 millones de cabezas según registros de SENASA (consultado marzo 2018), distribuyéndose principalmente en la zona centro-este del país (Figura 1). La importancia de ésta actividad radica en su potencial para la diversificación de la producción, y el valor agregado en el caso de establecimientos productores de grano y/o pastura.

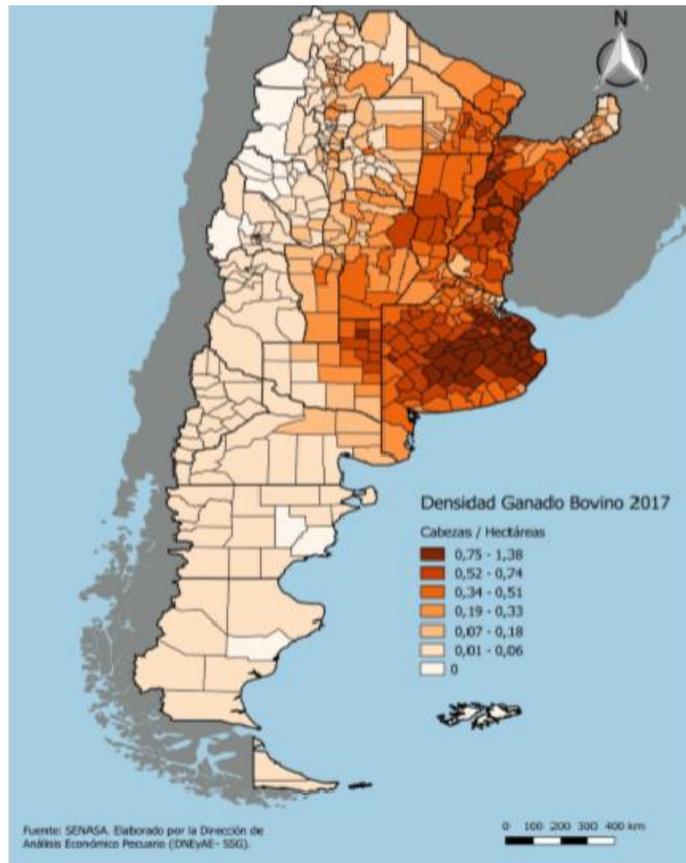


Fig.1: Mapa de densidad de ganado bovino por departamento provincial para el año 2017¹. (Fuente: Ministerio Agroindustria).

Problemáticas en el manejo de la alimentación en sistemas extensivos.

Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en el manejo de la alimentación en sistemas ganaderos extensivos es la producción de pasturas, la cual tiene una relación directa con las condiciones ambientales. En la zona del noroeste de Córdoba, donde se ubica el establecimiento ganadero “Las Lomitas” (establecimiento objeto de estudio del presente trabajo), el régimen de precipitaciones es variable y tiene una estacionalidad muy marcada (régimen monzónico), lo cual requiere hacer un manejo conservador con el fin de disponer de forrajes para los animales durante todo el año.

¹ La última versión disponible se corresponde con el mapa para el año 2017

Cabe destacar la dificultad, por parte de muchos productores, sobre la estimación de kilogramos de materia seca de pastura / hectárea (Kg MS/Ha) disponible. Como así también, su eficiencia de cosecha y su relación directa con la capacidad de carga de los campos. Para poder iniciar el estudio en estos tópicos, es necesario en primera instancia conocer las diferentes condiciones en los que se encuentra la pastura, y sus respectivas superficies. En el trabajo de Sánchez González (2016), se realiza un análisis integral sobre esta temática.

Antecedentes de aplicación de información satelital en ganadería.

En los últimos años la disponibilidad de datos provenientes de sensores remotos, ha permitido el estudio del componente herbáceo en sistemas ganaderos extensivos. Estos avances permitieron pasar de medidas puntuales y la estimación visual, a métodos más ágiles y precisos como la medición por medio de sensores dispuestos sobre drones (Insua, 2016), o la simulación de la productividad en pasturas semiáridas usando datos de sensores sobre satélites (Maselli, 2013). Así mismo, la disponibilidad de datos provenientes de sensores remotos también ha permitido la caracterización biofísica de los pastos, y el efecto del manejo del pastoreo sobre el forraje (Numata, 2007).

Por otro lado, estos datos pueden permitir la delimitación y mapeo de superficies dedicadas a la producción ganadera (Fassnacht, 2015). Más específicamente en los últimos años ha sido posible la segmentación de áreas con pasturas homogéneas (Brenner, 2012).

Estas nuevas aplicaciones de los datos provenientes de sensores remotos, son promisorios para el mapeo y monitoreo de áreas dedicadas al pastoreo. De esta forma pueden ayudar a la gestión del recurso, mejorando la eficiencia de uso y disminuyendo los riesgos de erosión.

Introducción al Sensoramiento Remoto:

Cuando se habla de información satelital, se hace referencia a aquella obtenida a partir de sensores dispuestos sobre satélites que orbitan la tierra. Dado que los satélites pasan por el mismo sitio a intervalos regulares de tiempo, censando grandes áreas, constituyen una fuente valiosa de información, pudiéndose construir incluso series históricas. Cuando la luz del sol

alcanza la superficie terrestre parte es absorbida y otra parte es reflejada hacia el medio. De la energía que es reflejada hacia el medio, una parte vuelve a ser absorbida por otros cuerpos (atmósfera, nubes, etc.) y la restante finalmente escapa al espacio exterior. Por otro lado, hay cuerpos que generan radiancia, o que tienen la propiedad de acumular energía para luego liberarla por ejemplo en forma de rayos infrarrojos. El principio de funcionamiento de los sensores remotos se basa en registrar tal energía emitida o reflejada al medio desde las distintas coberturas de la superficie terrestre, formando imágenes de distribución espacial de radiancia. Parte del espectro electromagnético puede ser captado por los sensores, los cuales registran la radiancia en distintos intervalos de longitudes de onda, lo cual se conoce como bandas. Cada tipo de cobertura de la superficie terrestre tiene sus características de emisión, reflexión y transmisión, lo que permite mediante ulteriores análisis, de los valores de radiancia registrados para un área, realizar caracterizaciones de la cobertura terrestre.

Para poder caracterizar una determinada cubierta resulta necesario conocer su comportamiento reflectivo en diversas longitudes de onda, ya que esto permitirá discriminarlo de otros tipos de cobertura (por ejemplo: vegetación o suelo desnudo). Algunas cubiertas tienden a presentar una respuesta uniforme en distintas longitudes de onda, mientras otras ofrecen un comportamiento mucho más selectivo, expresando por ejemplo altos valores de radiancia en una fracción específica del espectro electromagnético (o banda) mientras que en la otra es muy bajo. Entonces, en función de la cubierta bajo estudio, se seleccionaron las bandas con las que se trabajará, buscando aquellas en donde la cubierta bajo estudio se diferencie de las demás. De las bandas, se destacan para uso agropecuario las que cubren el espectro visible, infrarrojo cercano, medio y lejano, y microondas.

En la actualidad existen diversos satélites que proveen información, el satélite LANDSAT-8 que fue lanzado al espacio el 11 de febrero de 2013 (*Landsat program*), es un satélite óptico (Características Tabla 1) de resolución media cuyo objetivo es proporcionar información para actividades relacionadas con la agricultura, la educación, los negocios, la ciencia y también en el ámbito estatal. Es un satélite más completo respecto a su antecesor, LANDSAT-7, con sus funciones mejoradas para monitorizar la calidad del agua y nubes atmosféricas altas.

Este satélite contiene dos sensores: un sensor operacional de imágenes de tierra (OLI) y un sensor Infrarrojos Térmico (TIRS).

1. **OLI** está conformado por 9 bandas espectrales que van desde las visibles pasando por los infrarrojos cercanos e infrarrojos de onda corta. La resolución espacial de las imágenes oscila entre los 15 y los 30m.
2. **TIRS** está compuesto por dos bandas espectrales, las cuales detectan infrarrojos térmicos, una herramienta imprescindible para analizar la temperatura de la superficie de la Tierra. LANDSAT-8 proporciona imágenes de satélite de calidad que pueden utilizarse para estudiar la superficie de la tierra desde el espacio.

Tabla 1. Características misión LANDSAT 8.

Información general del satélite LANDSAT-8	
Altitud de Órbita	705 km
Ancho Pasada	185 km
Distancia de Muestreo (GSD)	15-30 km
Lanzamiento/Expectativa de vida	2013-2018 (tiene suministros hasta 2023)
Tiempo Revisita	16 días

Bandas	Longitud de Onda (nm)	GSD (m)
1 - COASTAL AEROSOL	300	30
2 – AZUL	450 - 510	30
3 – VERDE	530 – 590	30
4 – ROJO	640 - 670	30
5- INFRARROJOS	850 – 880	30
6 - SWIR 1	1570 - 1650	30
7 - SWIR 2	2110 – 2290	30
8- PANCROMÁTICA	500-680	15
9-CIRRUS	1360-1380	30
10-INFRARROJOS TÉRMICOS	10600-11190	100(*30)
11- INFRARROJOS TÉRMICOS 2	11500 - 12510	100(*30)
* Las bandas TIRS se obtienen a resoluciones de 60m pero son re muestreados a 30 m para información del producto final		

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar mediante el uso de información derivada de sensores remotos, distintas condiciones de manejo, en un sistema ganadero extensivo del norte de Córdoba.

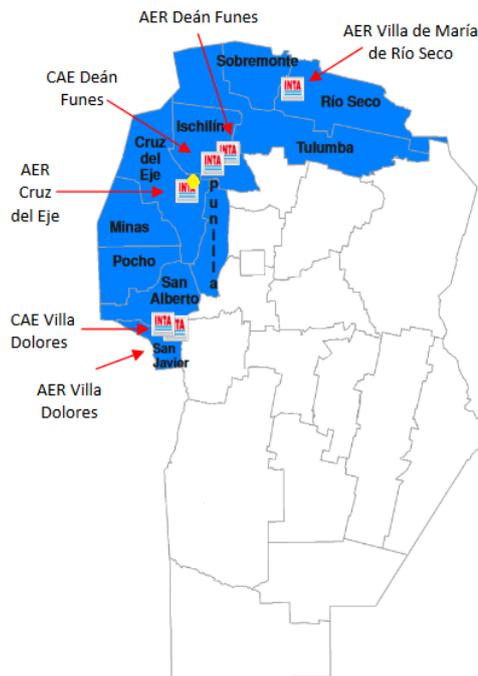
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la utilidad de una metodología de segmentación de imágenes satelitales, en la determinación de zonas homogéneas para su posterior muestreo a campo.
- Aplicar metodologías del análisis multivariado sobre índices y datos espectrales para la determinación, descripción y caracterización de zonas homogéneas.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en la zona Noroeste de la provincia de Córdoba (Figura 2). Este territorio se caracteriza principalmente por la presencia de cordones montañosos que se extienden de norte a sur, valles longitudinales y grandes extensiones salinas al norte del mismo. Estas características del relieve, junto con la aptitud de los suelos, condicionan la explotación agrícola quedando así la ganadería como pilar fundamental.



Ubicación:

Noroeste de la provincia de Córdoba.
 Departamentos: Cruz del Eje, Ischilín, Minas, Pocho, Punilla, Río Seco, San Alberto, San Javier, Sobremonte y Tulumba.

Superficie geográfica:

46.509 km²
 28% superficie de la provincia
 Tulumba es el departamento más extenso
 San Javier es el departamento más pequeño

Agencias de Extensión Rural (AER):

- AER Cruz del Eje
- AER Villa Dolores
- AER Deán Funes
- AER Villa de María de Río Seco

Campos Anexos Experimentales (CAE):

- CAE Villa Dolores
- CAE Deán Funes

Fig. 2: Mapa de la provincia de Córdoba. Resaltado en azul, el arco noroeste de la provincia.

De acuerdo a Gorgas (2006) la provincia de Córdoba se divide en 15 (quince) Zonas Agroeconómicas Homogéneas (ZAH), entendiéndose por tales a unidades territoriales que mantienen cierta homogeneidad en sus características ambientales, estructurales, socio-económicas, productivas e institucionales. El campo en estudio se encuentra en la Zona XI: Zona ganadera del NO de la provincia de Córdoba y N de San Luis; Subzona E: Cosquín, serrana de producción ganadera extensiva (Figura 3).

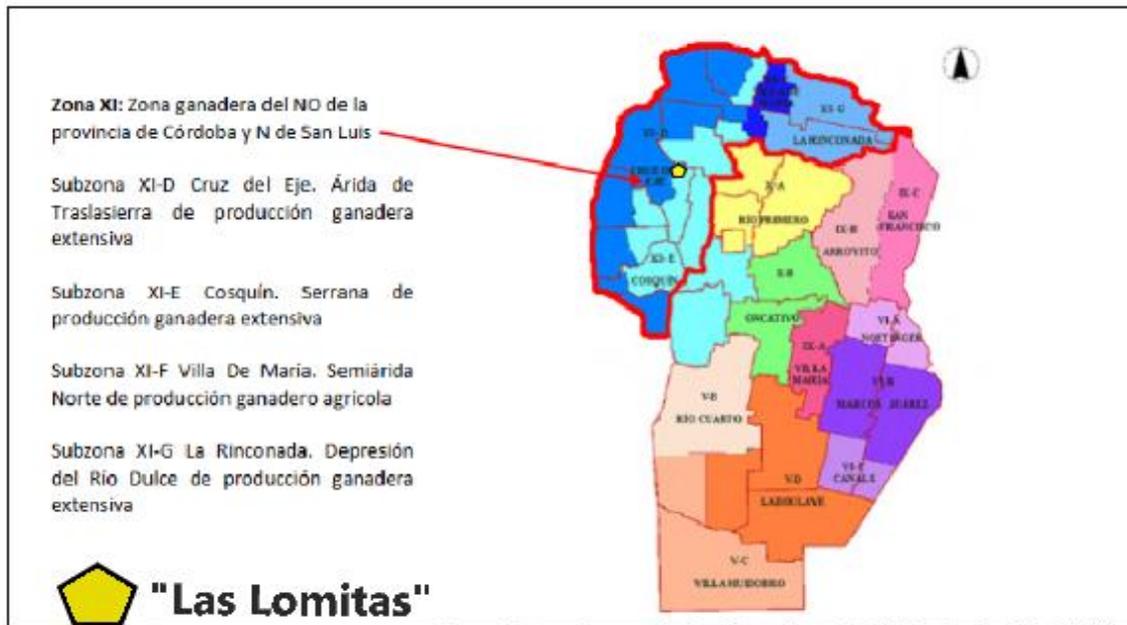


Fig. 3: Mapa de la Provincia de Córdoba con sus respectivas ZAH. Se resalta la ubicación del campo en estudio.

CASO DE ESTUDIO “LAS LOMITAS”

Las variables a analizar en el presente trabajo, proceden de un establecimiento rural de actividad ganadera, localizado en la ZAH XI-E anteriormente descrita. El establecimiento de nombre “Las lomas”, se encuentra colindante a la localidad de Huascha, 10 km al norte de la ciudad de Cruz del eje. (Figura 4). La superficie total del establecimiento es de 2027 has.

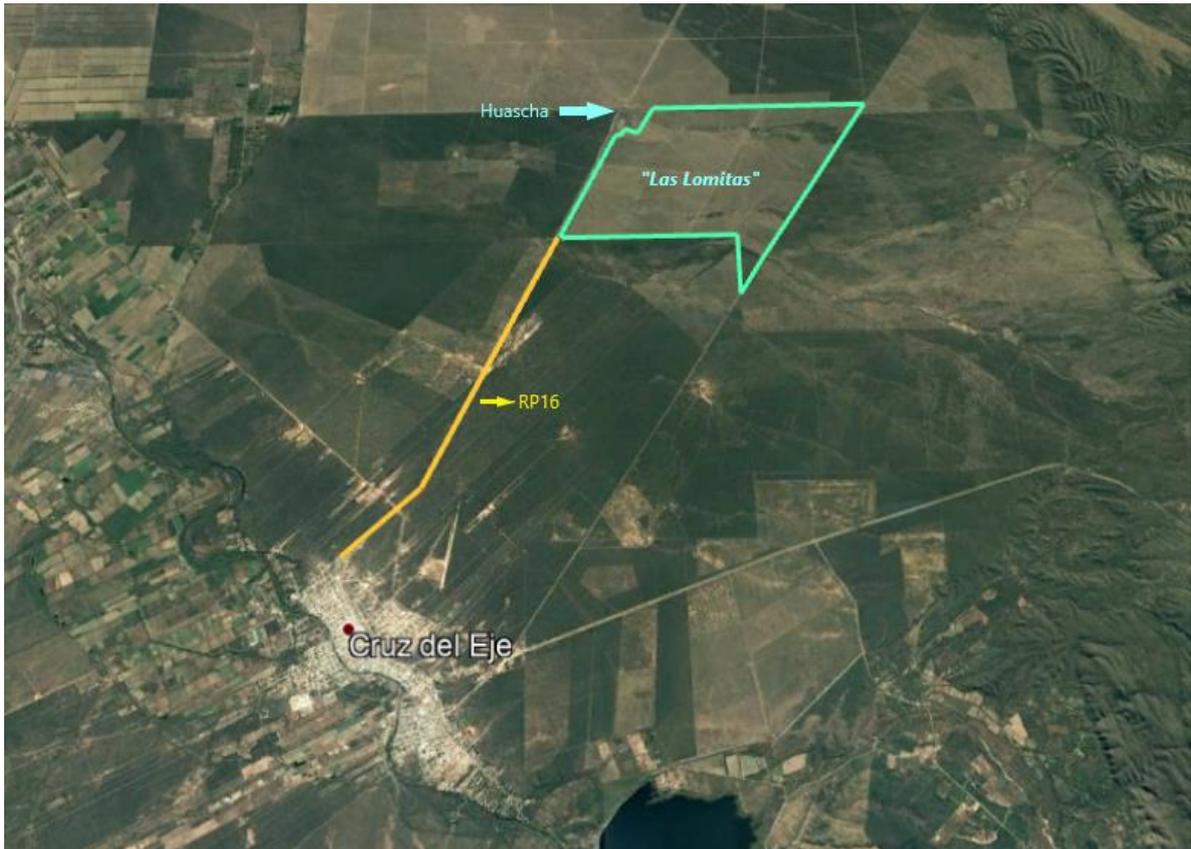


Fig. 4: Ubicación del Establecimiento Las Lomitas, Colindante a la localidad de Huascha. (Imagen adaptada de Google maps).

La actividad preponderante es la de ganadería de cría. Para la realización de esta actividad productiva el establecimiento se encuentra subdividido en 18 potreros (Figura 5), con sistema de aguadas.



Fig. 5: Delimitación de Potreros en el establecimiento "Las Lomitas". (Imagen base de Google Earth Pro).

El manejo de la alimentación es en base a pasturas naturales e implantadas, tales como Gatton Pannic (Figura 6) y en menor proporción Buffel Grass (aproximadamente un 5% de la superficie se encuentra consociada con Gatton Pannic). En épocas pasadas en el predio del establecimiento se realizó aprovechamiento forestal (específicamente de ejemplares del género *Prosopis*), actualmente se encuentran de forma aislada, ejemplares arbóreos alternando con las pasturas.



Fig. 6: Instantánea de Sistema Silvopastoril de pastura Gatton Pannic luego del pastoreo. 16/9/2017. (imagen propia).

Este estrato arbóreo, está compuesto principalmente por Quebrachos Blancos (*aspidosperma sp*) adultos, espacialmente aislados. Una característica del sistema es la competencia entre el estrato herbáceo (implantado o natural), y el estrato arbustivo (renoval). Especialmente en los años de menor milimetraje, en los cuales el estrato arbustivo compite en mayor medida con las pasturas. Para mitigar el proceso de invasión por parte del estrato arbustivo, de forma sistemática se realiza en la mayoría de los lotes un manejo de desmonte selectivo por medio de rolado mecánico (Figura 7). Un sector del establecimiento se encuentra clausurado a pedido de la secretaría de ambiente, por su proximidad al cordón serrano.



Fig. 7: Instantánea de desmonte selectivo mediante rolado mecánico. Se aprecia la ausencia total de vegetación herbácea y arbustiva debido al pisoteo de los animales por la proximidad a la aguada. (Imagen propia)

AMBIENTE

La región natural donde se encuentra el establecimiento en estudio corresponde a la región fitogeográfica del Bosque Chaqueño, Subzona XI-E Cosquín, Serrana de producción ganadera extensiva

FISIOGRAFÍA

La fisiografía está compuesta por medias lomas irregulares alternadas con zonas planas. La pendiente predominante tiene sentido Este-Oeste lo que permite la formación de pequeñas escorrentías en épocas de lluvia con la consecuente erosión del material edáfico. Los suelos predominantes son del tipo Aridisoles que presentan poco contenido de materia orgánica, baja fertilidad física, biológica y química lo cual lo hace susceptible a los procesos de degradación.

La vegetación natural corresponde al Parque chaqueño presentando estrato arbóreo, arbustivo y pastizal. Las especies que componen estos estratos se caracterizan por los bajos requerimientos nutricionales y las diferentes adaptaciones morfológicas necesarias para la supervivencia en el hábitat; estas adaptaciones brindan las condiciones de rusticidad características de las mismas.

CLIMA

El régimen térmico se caracteriza por una temperatura media anual de 18°C y una amplitud térmica de 14°C, con un período de 244 días libre de heladas, las que ocurren generalmente entre abril y septiembre. La pluviometría del campo (Tabla 2) presenta un promedio de 600 mm (en base a mediciones de los últimos 5 años) con una distribución estacional de tipo monzónico (Figura 8). El déficit hídrico es muy elevado durante todo el año, lo cual genera deficiencias considerables, el valor aproximado es de 480 mm.

Tabla 2. **PRECIPITACIONES MENSUALES HISTÓRICAS EN “LAS LOMITAS” (en milímetros).**

Año/Mes	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	TOTAL ANUAL
2012	0	0	20	30	71	39	125	115	70	50	40	0	560
2013	0	0	0	71	82	256	25	35	115	16	7	20	627
2014	0	0	25	10	70	40	110	169	157	170	30	25	806
2015	0	0	0	0	80	95	195	320	107	85	0	0	882
2016	0	0	0	53	87	95	95	200	93	50	15	30	718
PROMED	0	0	7,5	27,3	65	87,5	91,6	139,8	90,3	61,8	15,3	12,5	<u>598,8</u>

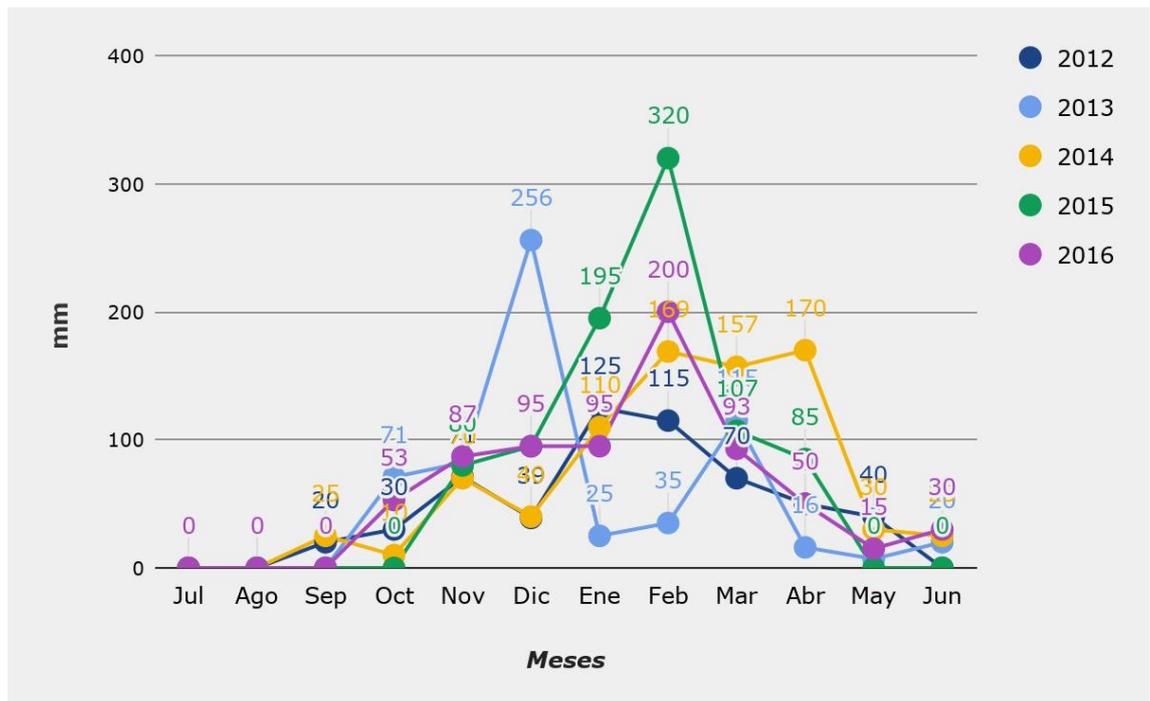


Fig.8: Representación gráfica de la distribución mensual de las precipitaciones a partir de los valores de la Tabla 2.

SUELOS

Los suelos tienen una capacidad de uso VI y VII (Figura 9). Estos suelos presentan ciertas limitaciones para la realización de actividades agropecuarias. Mientras que otras, como la forestación o la ganadería extensiva, son más factibles con un cierto nivel de restricción para evitar la degradación del mismo.

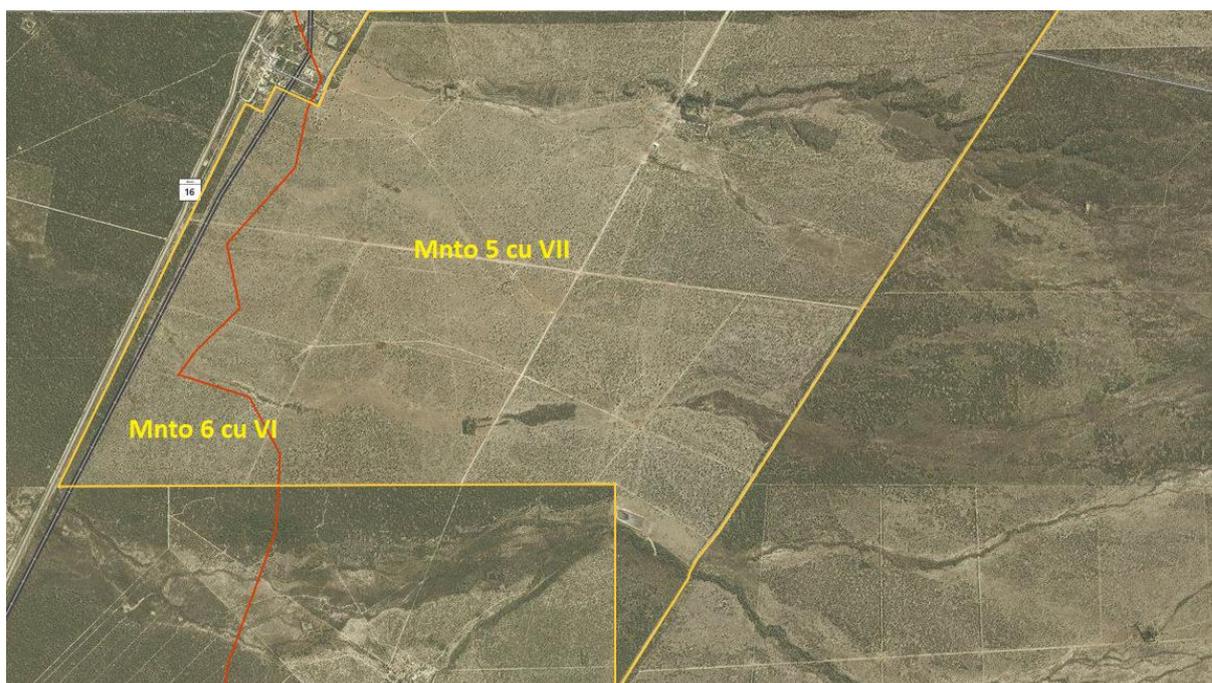


Fig.9: Tipos de suelo presentes en el establecimiento. (Fuente Visor GeoINTA).

El horizonte superficial se encuentra débilmente compactado, a causa del pisoteo producido por los animales cuando pastorean. Sin embargo, presentan buena capacidad de drenaje con una buena cobertura y estructura lo que facilita la infiltración del agua proveniente de las precipitaciones.

VEGETACIÓN NATURAL

La vegetación natural ha sido modificada para poder obtener distintos recursos (madera para leña, carbón, postes, varillas, etc) y lograr la implantación de pasturas. Sin embargo, aún sigue siendo el rasgo fisiográfico predominante en el paisaje, ya que cubre más del 70% de la superficie.

La superficie del establecimiento con vegetación arbórea se puede dividir en 2 partes de acuerdo a su uso o explotación:

- **Desmote selectivo:**

- En el que se encuentran principalmente, como estrato leñoso, las siguientes especies: Algarrobo (*Prosopis Alba*), Quebracho Blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), Brea (*Parkinsonia praecox*), Mistol (*Ziziphus mistol*).

- Como estrato arbustivo se encuentra: Garabato hembra (*Mimosa detinens*), Garabato macho (*acacia furcatispina*), Piquillín (*Condalia microphylla*), Jarilla (*Larrea*

divaricata), Jaboncillo (*Bulnesia Bonariensis*), Lagaña de perro (*caesalpinia gilliesii*), Tunas (*Opuntia*).

- **Monte Natural:**

Encontramos diversas especies propias del Bosque Chaqueño Occidental ubicado en la zona Noreste del campo; de dichas especies, las que predominan son: quebracho blanco (*Aspidosperma Quebracho-Blanco*), Algarrobo blanco (*Prosopis Alba*), Itín (*Prosopis Kuntzei*), Tala (*Celtis ehrenbergiana*), chañar (*Geoffroea decorticans*), Brea (*Parkinsonia praecox*) entre otros.

DATOS MULTIESPECTRALES

Se utilizaron datos multiespectrales en la región del Azul, Verde, Rojo, Infrarrojo cercano, mediano y lejano (bandas 2, 3, 4, 5, 6 y 7 respectivamente) registradas por el satélite Landsat 8. Los datos multiespectrales se obtuvieron mediante la plataforma web Google Earth Engine. Se descargaron los registros correspondientes a la bandas visibles e infrarrojas (2-7) para el área de estudio, en valores de reflectancia calibrada al tope de la atmósfera (fecha de adquisición: 2 de setiembre de 2017). Estas variables se visualizaron geográficamente utilizando el software QGIS, posicionando los valores espectrales correspondientes a los lotes del establecimiento “Las Lomitas” ubicado en Huascha, provincia de Córdoba (30.61875°S 64.71823°W).

ÍNDICES DERIVADOS DE DATOS ESPECTRALES

Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) (Tucker 1979):

Es uno de los índices derivados de información satelital más utilizados en estudios ecológicos ya que está relacionado con la actividad fotosintética de la vegetación y permite realizar

estimaciones de la productividad primaria. El NDVI puede variar entre -1 y +1. Sin embargo, donde hay vegetación varía generalmente entre 0.2 y 0.8. Valores cercanos a 0 corresponden a zonas de suelo desnudo, o roca, es decir, de baja productividad, mientras que valores mayores, cercanos a 1, corresponden a zonas de alta productividad. Para datos derivados de Landsat 8, el cálculo del NDVI se basa en la combinación de las bandas 5 (NIR) y 4 (rojo) ya que las plantas absorben la luz correspondiente a dichas regiones del espectro, de forma diferencial según su estado fisiológico (ej: Una planta sana capta casi la totalidad del rojo, y refleja la mayor parte del infrarrojo). El cálculo de NDVI se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED) = (B5 - B4)/(B5 + B4)$$

Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI) (Hardisky et al. (1983):

Está altamente correlacionado con el contenido de agua del canopeo, el nivel de saturación de humedad que posee el suelo, y se relaciona más estrechamente a los cambios en la biomasa de la planta y el estrés hídrico respecto al NDVI (Hardisky et al. (1983)). El NDMI relaciona los valores del infrarrojo cercano con los del infrarrojo de onda corta, utilizando para ello la banda NIR y la banda SWIR 1 (Jin 2005). Su cálculo se basa en la combinación de las bandas mediante la siguiente ecuación:

$$NDMI = ((NIR - SWIR 1)/(NIR + SWIR 1)) = (B5 - B6)/(B5 + B6)$$

ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS

Segmentación de datos espectrales

En primera instancia se realizó una segmentación de datos satelitales utilizando una imagen que abarcaba el campo en estudio, es decir, se crearon objetos constituidos por varios píxeles. Para ello se utilizó el algoritmo *Meanshift* (Canty, 2014) implementado en la caja de herramientas de Orfeo, presente en el software QGIS 2.14. Como datos de entrada se utilizó una imagen Landsat 8, con fecha de adquisición 02/09/2017 en la cual no se apreciaban claramente nubes ni smog en la atmósfera. El ajuste de los parámetros asociados al algoritmo

de segmentación fue dirigido a fin de obtener objetos cuyos límites representaban parches homogéneos en la zona de estudio.

Clasificación de segmentos:

Con el fin de agrupar objetos (segmentos) que presentaban similares características a campo se realizó una clasificación no supervisada. Como algoritmo clasificador se utilizó Kmeans y como datos de entrada el valor mediano de las bandas espectrales de la 2 a la 7 de cada segmento. Se realizaron varias pruebas utilizando el software de análisis estadístico InfoStat (Di-Rienzo et al. 2016) alternando el número de grupos, desde 5 a 10 grupos. El objetivo de esta clasificación fue discernir entre áreas homogéneas, cuyo estado a campo era similar (número de árboles, estado de las pasturas, cobertura de suelo, etc), y de esta manera poder hacer un muestreo representativo del establecimiento bajo estudio. Cabe destacar la imposibilidad de realizar un muestreo aleatorio sistemático debido a la extensión del campo.

Para la determinación del número de grupos más adecuado, se realizó un análisis de la forma del gráfico de silueta. Este representa la variabilidad dentro de cada grupo en función del número de grupos. El número óptimo de grupos se encuentra identificando un cambio brusco de la pendiente del gráfico que relaciona la variabilidad dentro de los grupos y el número de grupos. Se identifica un “codo” en la representación de la secuencia de valores.

Caracterización de grupos

Los grupos de segmentos, se identificaron como las unidades de estudio. Se le asignó a cada unidad de estudio una serie de medidas resúmenes de los datos multiespectrales (bandas: azul, verde, rojo, Infrarrojo cercano, mediano y lejano). Se procedió a realizar posteriores análisis multivariados, a fin de describir y caracterizar las áreas homogéneas. El procesamiento y análisis de los datos fue ejecutado en el software estadístico InfoStat.

Una vez obtenida la clasificación de segmentos, se definieron 7 clases, se procedió a la observación a campo de los mismos con la finalidad de contrastar las diferentes situaciones

ambientales presentes. Por último, se realizó una recorrida de los lotes y toma de datos de las condiciones observadas en cada segmento para relacionarlas con las variables espectrales que arrojaba el satélite.

MUESTREO DE DATOS A CAMPO

Sobre la base del mapa de segmentos se realizó una visita al campo (16/9/2017) en donde se hizo un recorrido por los diferentes lotes, observando los distintos estratos (arbóreos, arbustivos y de pastizales), presencia de distintas especies en cada uno y el estado en que se encontraba. Como previamente se contó con el mapa de segmentos anteriormente mencionado, éste se utilizó como referencia para el registro de datos de referencia a campo en zonas representativas de las condiciones de la vegetación.

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Para explorar y caracterizar el comportamiento multivariado de los grupos construidos sobre la base de la relación entre las covariables obtenidas a partir del sensoramiento remoto se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP). El ACP es una técnica generalmente utilizada para reducción de dimensión. Las técnicas de reducción de dimensión permiten examinar todos los datos en un espacio de menor dimensión que el espacio original de las variables. Con el ACP se construyen ejes artificiales (componentes principales) que permiten obtener gráficos de dispersión de observaciones y/o variables con propiedades óptimas para la interpretación de la variabilidad y covariabilidad subyacente. Así mismo, se pueden realizar Biplot en los cuales es posible visualizar observaciones y variables en un mismo espacio, de este modo es factible identificar asociaciones entre observaciones, entre variables y entre variables y observaciones. Como entrada se utilizaron las x variables obtenidas a partir de las distintas bandas espectrales, se realizó entonces un análisis descriptivo del gráfico Biplot resultante.

Realizado el ACP, se ejecutó nuevamente un Análisis de Conglomerados con la finalidad de obtener mayor conocimiento sobre la estructura de las variables en estudio y facilitar la visualización de las relaciones y agrupaciones de las variables. El análisis de conglomerado se puede implementar mediante diversos procesos, y así agrupar objetos según un conjunto de valores. Se utilizó un método de agrupamiento jerárquico, con el algoritmo de agrupamiento Promedio (Average Linkage), para medir las distancias se utilizó la métrica Euclídea. En la realización de este procesamiento los datos fueron estandarizados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Segmentación de datos espectrales y clasificación

Luego de diversas pruebas, con el algoritmo de segmentación *Meanshift*, se pudo obtener un mapa con segmentos (objetos vectoriales) que se adaptan a los parches existentes en cada lote del campo. Entonces, para cada uno de estos objetos se extrajeron los valores de la mediana de cada banda espectrales correspondiente imagen Landsat 8. Con estos datos se realizó una clasificación no supervisada de los objetos, utilizando el algoritmo Kmeans.

A través de la utilización del algoritmo *Meanshift* se logró obtener una segmentación que sirvió para identificar y caracterizar las unidades en estudio.

Observando el gráfico de siluetas² derivado del análisis con el algoritmo K-means (Figura 10) aplicado a los objetos vectoriales, en el cual se fijaron 15 conglomerados, se aprecia que la heterogeneidad disminuye a medida que aumenta el número de grupos. Específicamente puede detectarse un quiebre, o “codo” en la medida que disminuye esta heterogeneidad, alrededor de los 7 conglomerados. A partir de esta aproximación y del criterio basado en conocimiento previo del establecimiento en estudio se decidió la conformación de 7 grupos de segmentos. De esta manera se abarca en mayor medida los estados en el cual se encontraban las pasturas en el campo.

² los valores de heterogeneidad dentro de grupo se encuentran multiplicados x 10000

Gráfico de Siluetas

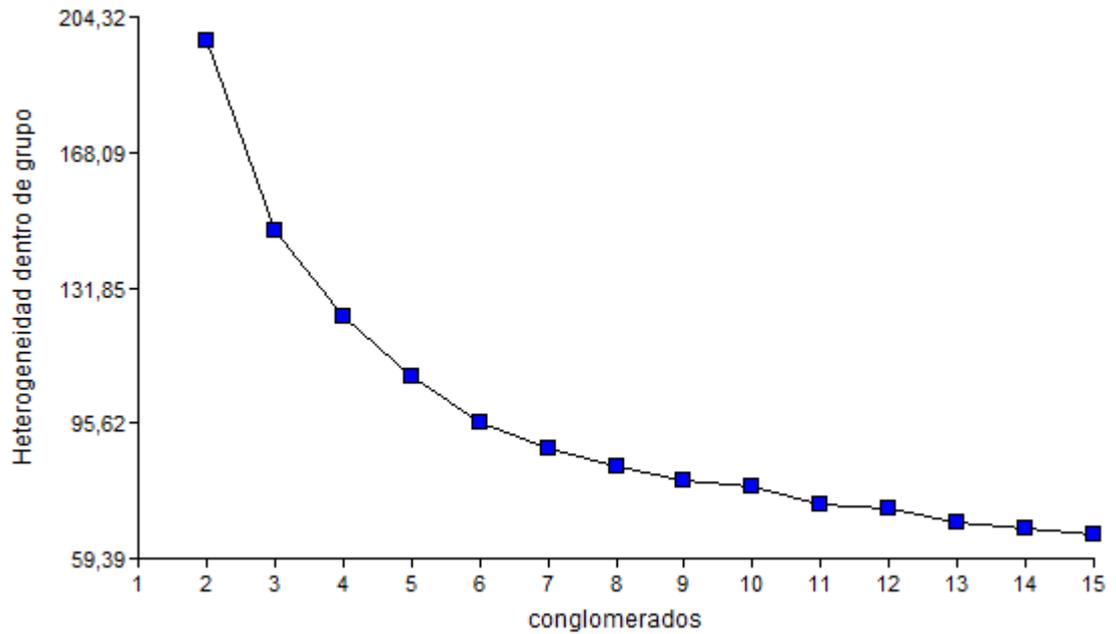


Figura 10: Gráfico de siluetas para la clasificación de los datos espectrales con Kmeans.

Como se mencionó anteriormente, sobre la base de la información de campo conocida previamente (aportada por el productor: manejo en general) se estableció que la cantidad de 7 grupos era óptima para describir a las diversas condiciones de vegetación del establecimiento en general. En base a estos grupos se planificó el recorrido de muestreos a campo con la finalidad³ de minimizar los tiempos del mismo. (Figura 11).

³ Los valores en el eje Y están afectados por un factor multiplicativo de 10000.

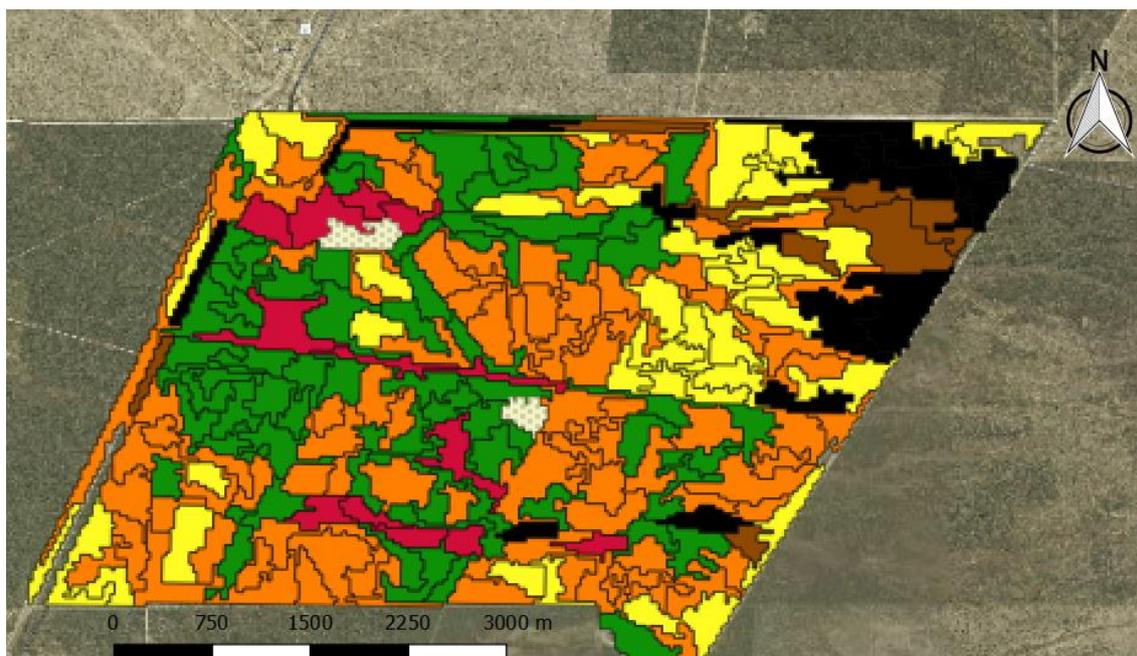


Fig. 11: Representación espacial del agrupamiento de objetos según características espectrales.

Determinación de las condiciones vegetativas

En base a la información registrada en el muestreo a campo se pudo caracterizar a cada uno de los grupos definidos en la etapa de clasificación de objetos. A continuación se describen los aspectos más relevantes de cada clase.

Clase 1 . (Mayor cantidad de diferido): Correspondiente a pastizal diferido pero con alta cantidad de materia seca. Lugares donde ha alcanzado su máximo crecimiento en la etapa vegetativa y no ha sido pastoreado.

Clase 2 (Ambiente muy intervenido recientemente): Áreas correspondientes a “picadas” realizadas con un rolo para favorecer el paso de los animales, la creación de un alambrado interno o rolado con la finalidad de controlar renovales.

Clase 3:(Arbustos densamente desarrollados) Área correspondiente a estratos arbustivos muy densos con muy baja (casi nula) intervención.

Clase 4 (suelo desnudo): Correspondiente a zonas muy transitadas, caracterizadas por la ausencia total de vegetación.

Clase 5 (Renoval joven): Estrato arbustivo joven de aproximadamente 2 años de edad, rebrotes de la flora Nativa.

Clase 6 (Suelo desnudo 2): Pequeños parches donde se observa suelo desnudo pero no es posible identificar la causa de la nueva clasificación espectral con respecto a la “clase 4”.

Clase 7 (Bosque nativo): Correspondiente a zonas de nula intervención, bosque virgen y cortinas forestales. Flora en su estado natural.

<p>Clase 1: Mayor cantidad de diferido. Clave de color: </p>	
<p>Clase 2: Ambiente muy intervenido recientemente. Clave de color: </p>	
<p>Clase 3: Arbustos densamente desarrollados. Clave de color: </p>	

Clase 4: Suelo desnudo.
Clave de color: 



Clase 5: Renoval joven.
Clave de color: 



Clase 7: Bosque nativo.
Clave de color: 



Análisis de componentes principales

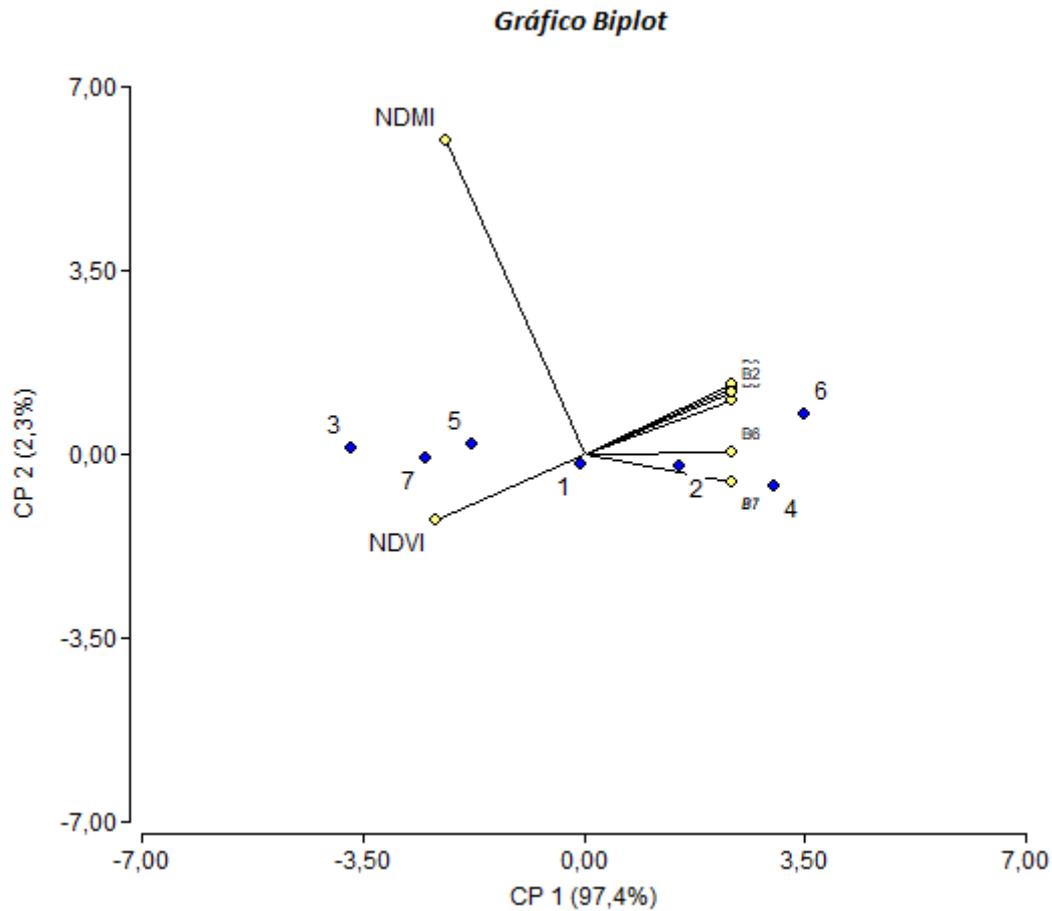


Fig. 12. Biplot del Análisis de Componentes Principales. Se muestran las relaciones entre las bandas espectrales e índices con las clases de segmentos analizadas.

En la Figura 12 se exhibe el gráfico Biplot resultante del ACP. En el mismo se observa que las dos primeras componentes explican el 99,7 % de la variabilidad de las observaciones. La componente principal 1 explica el 97,4% de las variaciones y separa principalmente el NDVI de las diferentes bandas. Se observa que los casos 3, 5 y 7 están más asociados a NDVI alto, respaldado por la mayor presencia de vegetación verde en los diferentes estratos arbustivos y arbóreos. En contraste, se encuentran los casos 2, 4 y 6 correspondientes a áreas de suelo desnudo y/o con muy baja cobertura. Al medio se encuentra el caso 1 que corresponde al pastizal diferido.

Con respecto al NDMI, al ser el un índice correlacionado a la humedad del canopeo, nivel de saturación del suelo, se observa que ningún caso se asocia al mismo debido a la época del año y la sequía presente al momento de la toma de datos espectrales.

Análisis de agrupamiento jerárquico

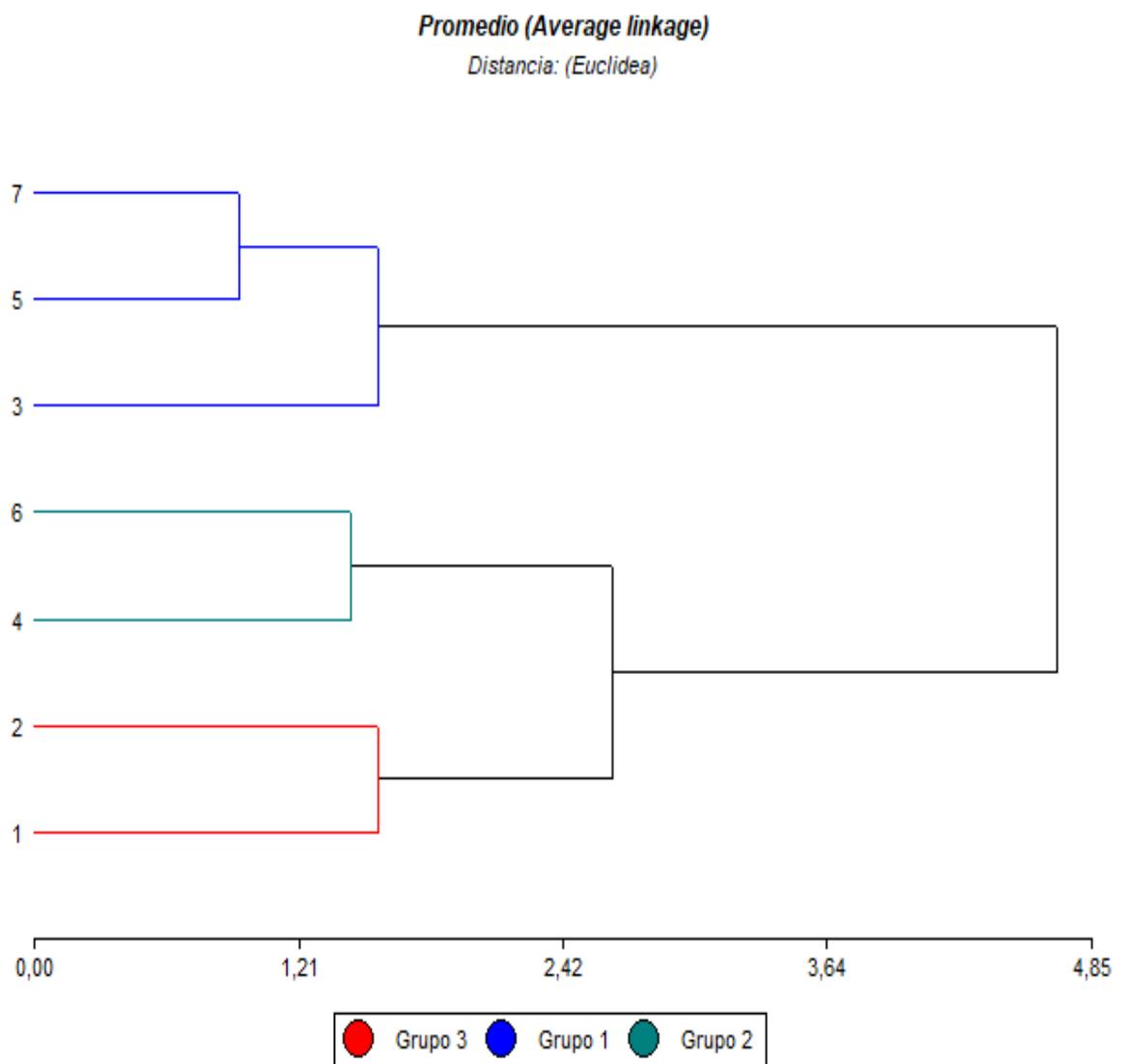


Figura 13: Dendrograma del Análisis Conglomerados Jerárquico. Se resaltan las clases analizadas en 3 grupos.

En la Figura 13 se muestra el correspondiente dendrograma de análisis de conglomerados jerárquico aplicado a los datos de las diferentes clases de cobertura determinadas. Se puede observar como las clases 7, 5 y 3 (Grupo 1) son los que mayor semejanza tienen debido al NDVI

alto que aprecian como se dijo antes debido a la presencia de bosques vírgenes, cortinales forestales y renovales sin rolar que están densos (clase 7 y 3) y de renovales jóvenes con rebrotes activos (clase 5), que se encuentran en actividad fotosintética y por ende con altas tasas positivas producción primaria. Por el otro lado tenemos las clases 6 y 4 (Grupo 2) que se dividen debido a su ausencia vegetativa y escaso valor de ndvi y finalmente las clases 2 y 1 (Grupo 3) por otro lado que presentan valores intermedios. La división principal en dos clases, que se produce por la variabilidad en el valor del NDVI, se corresponde con lo descrito por Carcedo *et al*, 2017, quienes trabajando con una serie de valores de NDVI de 3 años, determinaron que la partición en dos grupos puede explicarse por la diferencia en el patrón temporal de la serie de datos. En su estudio una de las clases presentó valores estables y periódicos en el tiempo, mientras que la restante exhibió una mayor inestabilidad.

CONCLUSIONES

A partir de los datos analizados en el presente trabajo, se puede concluir que:

El uso de información derivada de sensores remotos en el proceso de segmentación y posterior clasificación, permitió generar objetos vectoriales que se adaptaban a los parches de vegetación existentes en cada lote del campo, y se pudo establecer que la cantidad de 7 grupos permite describir a las diversas condiciones de vegetación del establecimiento en general. Lo cual facilitó la determinación de las condiciones vegetativas con un posterior muestreo a campo.

Por medio del Análisis de Componentes Principales se comprendió la relación entre los valores de las bandas e índices espectrales con los estados de la vegetación, separándose principalmente las áreas con vegetación fotosintéticamente activa. Finalmente el análisis de conglomerados jerárquico sobre los grupos definidos, constató las semejanzas observadas a campo en los parches de vegetación.

BIBLIOGRAFÍA

- “Drones en ganadería” Juan Ramón Insua ; Santiago Utsumi (2016).
- “Simulation of grassland productivity by the combination of ground and satellite data”
- Brenner, J. C., Christman, Z., & Rogan, J. (2012). Segmentation of Landsat Thematic Mapper imagery improves buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) pasture mapping in the Sonoran Desert of Mexico. *Applied Geography*, 34, 569-575.
- Canty, M. J. (2014). Image analysis, classification and change detection in remote sensing: with algorithms for ENVI/IDL and Python. Crc Press.
- Carcedo, D., Nolasco, M., Balzarini, M. “Comparación de algoritmos de clasificación no supervisada para el estudio de coberturas forrajeras extensivas”. Poster. XXII Reunión Científica del Grupo Argentino de Biometría. Facultad de Ciencias Económicas y Estadística, UNR. Rosario, 2017.
- Castillo Moine Matías Alejandro, Ramiro Franco. (2015). Modelación del rendimiento de caña de azúcar a partir de información satelital. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar> Eastman, J. R. 2009. "IDRISI Taiga".
- Di-Rienzo, J.A. et al., 2016. InfoStat versión 2016. Disponible en: www.infostat.com.ar.
- Jin, S., & Sader, S. A. (2005). Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote sensing of Environment*, 94(3), 364-372.
- INTA (2013) Los suelos, la soja y la agriculturización.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_los_suelos_la_soja_y_la_agriculturizacin.pdf
- Maselli, F., Argenti, G., Chiesi, M., Angeli, L., & Papale, D. (2013). Simulation of grassland productivity by the combination of ground and satellite data. *Agriculture, ecosystems & environment*, 165, 163-172.

- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
- Numata, I., Roberts, D. A., Chadwick, O. A., Schimel, J., Sampaio, F. R., Leonidas, F. C., & Soares, J. V. (2007). Characterization of pasture biophysical properties and the impact of grazing intensity using remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 109(3), 314-327.
- Sanchez Gonzalez Esteban (2016) "DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN FORRAJERA Y LA CARGA BOVINA ANTE LA VARIABILIDAD DE LAS PRECIPITACIONES EN EL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA". UNC. Córdoba, Argentina.
- United States Geological Services. *Landsat Program*. <https://landsat.usgs.gov/>. Visitado el 18/09/2018.
- Carfagno Patricia, Eiza Maximiliano, Michelena Roberto (2013) "Los suelos, la soja y la agriculturización" Disponible en:
. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_los_suelos_la_soja_y_la_agriculturizacin.pdf