



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

TESINA PRESENTADA PARA OBTENER
EL GRADO ACADÉMICO DE
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

“EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA POST-INCENDIO DE ÁREAS QUEMADAS, A
TRAVÉS DEL USO DE IMÁGENES SATELITALES, EN LA REGIÓN DEL MONTE
OCCIDENTAL, PROVINCIA DE LA PAMPA”

María Elisa FRANK BUSS

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2013

Prefacio

Esta tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en la Cátedra de Sensores Remotos dependiente del Departamento de Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y en la Cátedra de Ecología Vegetal dependiente del Área de Recursos Naturales de la Facultad de Agronomía, durante el periodo comprendido entre el 25 de Noviembre de 2011 y el 25 de Febrero de 2013, bajo la dirección de la MSc. Chirino, Claudia y la codirección de la Cart. Castro, Mónica.

Agradezco a mi directora y codirectora por el apoyo y el profesionalismo al momento de la realización de este trabajo, a la Dirección General de Defensa Civil de la provincia de La Pampa por los servicios brindados y por la posibilidad de colaborar con la misma y a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de La Pampa.

María Elisa Frank Buss

25 DE FEBRERO DE 2013

DEPARTAMENTO DE RECURSOS
NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS
Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA
PAMPA

Resumen

Los ecosistemas semiáridos son particularmente afectados por el fuego, y los efectos negativos que puede producir a las actividades humanas han impulsado un mayor control. La teledetección es una herramienta actualmente muy utilizada que permite la localización de áreas quemadas y la obtención de índices como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) usado en el seguimiento de la regeneración post-incendio de la vegetación. El objetivo general de este trabajo fue evaluar las variaciones del índice (NDVI) en áreas naturales quemadas para poder estimar la dinámica post-incendio de la cobertura vegetal. El sitio de estudio se ubica en el centro-norte de la provincia de La Pampa y se trata de un ambiente semiárido con fisonomías de arbustal y pastizal. Se seleccionaron 6 áreas quemadas y sus respectivos controles y en cada una se realizó un censo fitosociológico y se determinó el porcentaje de cobertura vegetal. Se calculó el índice de vegetación previo al fuego, posterior y de las estaciones de crecimiento siguientes, hasta la actualidad para determinar su variación a través del tiempo. También se analizó la relación del valor del NDVI con la cobertura actual de vegetación. A pesar de presentar los sitios fisonomías diferentes, los resultados mostraron en todos los casos una rápida recuperación. Además reafirman que el NDVI es un buen estimador de la cobertura cuando se consideran solamente sitios con pastizal puro. De todos modos el número de muestreos realizados es bajo, por lo que sería conveniente ampliar este estudio incorporando nuevas áreas.

Abstract

The semi-arid ecosystems are particularly affected by the fire and it produces undesirable effects which have boosted more control. Remote sensing is now a tool widely used that allows to locate burned areas and to obtain indexes as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) used for monitoring post-fire regeneration of vegetation. The overall objective of this study was to evaluate changes in the index (NDVI) in natural areas burned in order to estimate the dynamics of post-fire vegetation cover. The selected site is located in the center-north of La Pampa province and it is a semi-arid environment with shrubland and grassland physiognomies. Six burned areas were selected with their respective controls and phytosociological census was conducted and vegetation cover percentages were determined in each one. The vegetation index was calculated prior and after to the fire, and for subsequent growing seasons to the present, to determine their variation over time. Also the relationship between NDVI and current vegetation coverage was analyzed. Despite the different physiognomies, the results showed in all cases a fast recovery. Also they reaffirm that NDVI is a good estimator of coverage when only pure grassland sites are considered. Anyway the number of samples taken is low, so it would be useful to extend this study by incorporating new areas.

Índice

Introducción	6
Objetivo del trabajo	9
Área de estudio	10
Metodología	12
<i>Procesamiento digital</i>	12
<i>Evaluación de la información y análisis de los datos</i>	15
Resultados y discusión	17
Conclusiones	27
Bibliografía	28
Apéndice 1	31
Apéndice 2	36
Apéndice 3	40
Apéndice 4	46

Introducción

La dinámica de la vegetación en los ecosistemas semiáridos está condicionada por la aparición de fuegos esporádicos que afectan el reclutamiento y la muerte de individuos y pueden alterar significativamente la composición específica de las comunidades y modificar fuertemente la fisonomía y las propiedades del suelo (DeBano, 1998). Durante mucho tiempo el fuego fue considerado un factor negativo en la naturaleza, un disturbio al que era necesario controlar y en lo posible suprimir. Sin embargo en los últimos años se ha arribado a la conclusión de que es parte integral del sistema en el que actúa y constituye un factor ecológico natural con influencia evolutiva en las especies presentes en los ecosistemas (Kunst, 2003). Muchas comunidades vegetales son favorecidas por fuegos periódicos para poder mantener su dinámica natural. Desde el punto de vista ecológico el fuego puede ser necesario para acelerar algunas etapas de sucesión, para permitir la germinación y el desarrollo de nuevos propágulos o para eliminar la competencia intra o interespecífica (Bóo, 1990; Molinero, 1990). Su ausencia provoca una acumulación de material muerto en el estrato graminoso-herbáceo y una importante disminución de la productividad (Cano *et al.*, 1985; Sipowicz, 1994). Estas consecuencias le dan al fuego, en condiciones controladas, un valor importante desde el punto de vista económico porque permite mejorar la calidad nutricional de las pasturas para el ganado o simplemente permite reducir la carga de combustible, disminuyendo el riesgo de incendios de comportamiento extremo (Defossé y Urretavizcaya, 2003).

Ante los efectos indeseables de incendios catastróficos se generó una tendencia orientada al control de los mismos. En muchos casos se comprobó que la eliminación del fuego provoca una acumulación de combustible tal que ante un foco accidental las consecuencias se vuelven imprevisibles (Bóo, 1990; Kunst, 2003). Es así como los incendios siguen manifestándose y, pueden tener efectos desastrosos, sobre todo en el periodo estival, donde la temperatura elevada, la baja humedad relativa y la alternancia de condiciones que favorecen el crecimiento vegetal y por lo tanto la acumulación de combustible, permiten el desarrollo y la extensión del fuego (Bóo, 1990).

El conocimiento de las condiciones que favorecen la evolución de este importante componente de los ecosistemas permite una mejor actuación a la hora de controlar y extinguir los focos. Las circunstancias meteorológicas, fundamentales en lo que refiere a propagación e intensidad del fuego y determinantes del contenido de humedad del material

combustible (Dentoni, 2003), se pueden conocer a partir de los datos de estaciones meteorológicas.

Además de la componente meteorológica es fundamental en la combustión, propagación y duración de los fuegos, hay que evaluar otros aspectos ambientales, como la topografía y la cantidad, continuidad y características del material combustible. La teledetección ha ayudado a localizar tanto fuegos antiguos como focos activos, y también ha permitido analizar el estado de la vegetación (Martin *et al.*, 1994; Díaz Delgado y Pons, 1999). La información que aportan estas técnicas sobre regiones del espectro electromagnético no observables por medios convencionales resulta de gran valor y permite comparar situaciones previas y posteriores a un suceso (Martin *et al.*, 1994). A su vez son efectivos para trabajar sobre áreas amplias, difíciles de abarcar por tierra o con acceso dificultoso (Loboda y Csiszar, 2006). La vegetación presenta una forma característica en cuanto a reflejar la energía incidente y esto permite utilizar las imágenes satelitales en la evaluación de la condición de la misma. Las plantas en general reflejan muy poca energía en la región visible del espectro electromagnético, debido a la absorción de la clorofila para llevar a cabo la fotosíntesis, pero la proporción de energía reflejada en la región del infrarrojo cercano es muy alta, debido a la estructura de los tejidos de las hojas. De acuerdo a la energía reflejada en diferentes longitudes de onda por parte de la vegetación pueden construirse índices que muestran el estado de la misma en las imágenes obtenidas desde satélites (Di Bella *et al.*, 2008). Uno de ellos es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) que determina la cantidad de biomasa verde y es muy utilizado en el seguimiento de la regeneración de la vegetación post-incendio (Díaz Delgado, 2003; Díaz Delgado y Pons, 1999). El NDVI se obtiene de la combinación de las reflexiones medidas en el infrarrojo cercano y en el rojo (Martin *et al.*, 1994), para lo cual se combinan dos bandas de las imágenes, que varían según el sensor que las captura. El cálculo del NDVI es el siguiente:

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{IR}} - \rho_{\text{R}}) / (\rho_{\text{IR}} + \rho_{\text{R}}) \quad (-1 \leq \text{NDVI} \leq 1) \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde ρ_{IR} es la reflectancia de cada píxel en el canal infrarrojo y ρ_{R} es la reflectancia de cada píxel en el canal rojo (Díaz Delgado y Pons, 1999). Cuando mayor es la diferencia entre la baja reflexión en el canal rojo y la alta reflexión en el infrarrojo cercano mayor vigor tendrá la vegetación. Contrastes bajos indican menor vitalidad o superficies sin vegetación. Esto significa que cuanto mayor sea el valor del índice de vegetación (o más

próximo a 1), mayor será el vigor de la vegetación (Zerda, 2003) y mayor la disponibilidad de combustible. Si se conoce cómo varía el NDVI durante una estación de fuego se puede contar con una herramienta que brinde información sobre la probabilidad de ocurrencia de incendios y la peligrosidad de los mismos (Di Bella *et al*, 2008).

Objetivos del trabajo

El objetivo general del presente trabajo fue evaluar las variaciones del NDVI en áreas quemadas a partir del uso de imágenes satelitales, para poder estimar la dinámica post-incendio de la cobertura vegetal.

Los objetivos específicos fueron:

- a. evaluar la relación entre las características actuales de la comunidad vegetal y el NDVI obtenido mediante imágenes satelitales, y
- b. describir las variaciones del NDVI desde el momento del incendio hasta la actualidad.

Área de estudio

El área seleccionada se ubica en la Región Central de la provincia de La Pampa, Argentina y ocupa una porción del departamentos Chalileo (Figura 1). Esta zona fue seleccionada porque la acumulación de combustible, las características del relieve y la gran frecuencia de fuegos permiten clasificarla como de alta peligrosidad de incendios (Defensa Civil, www.defensacivillapampa.gov.ar; INTA *et al*, 1980).

Las características climáticas la describen como una zona semiárida. La temperatura media anual de la subregión es de 15,5°C y la precipitación media oscila entre 270 y 400 mm y disminuyen de NE a SW. La acción erosiva del viento puede verse incrementada por las características del suelo, muy propenso a ser afectado por este elemento del clima (Casagrande y Conti, 1980). Toda el área está cubierta por materiales arenosos que forma médanos y planicies arenosas. La altura promedio es de 300 msnm (Salazar Lea Plaza, 1980). Los suelos predominantes son los Torripsamente típicos (Peña Zubiarte *et al*, 1980).

En cuanto a la vegetación, se encuentran en el áreas pastizales samófilos de *Elyonurus muticus* (pasto amargo)-*Hyalis argentea* (olivillo) con distintos grados de arbustización, y arbustales abiertos, perennifolios de *Larrea divaricata* (jarilla). La presencia de estas dos fisonomías se debe a la existencia de dos tipos de suelo. En el caso del pastizal se trata de suelos arenosos presentes sobre todo en zona de médanos, mientras que en el arbustal los suelos son de textura más fina de tipo arenoso-franco y se ubican en llanos y en algunas pendientes. Los pastizales samófilos de *Elyonurus muticus*-*Hyalis argentea* con arbustos bajos son pastizales de gramíneas intermedias perennes, filiformes, con arbustos caducifolios y perennifolios. Los arbustales abiertos, perennifolios de *Larrea divaricata*, también conocidos como jarillales, son formaciones leñosas bajas abiertas, graminosas intermedias muy abiertas a abiertas, graminosas bajas y herbáceas muy abiertas (Cano *et al*, 1980).

Debido a las características antes descriptas la región presenta graves limitaciones para el cultivo y se la identifica como un área apta para pastoreo y para conservación de la fauna silvestre (Musto y Pittaluga, 1980). La actividad productiva principal es la ganadería extensiva de cría mixta de vacunos y caprinos (Maldonado Pinedo, 1980).

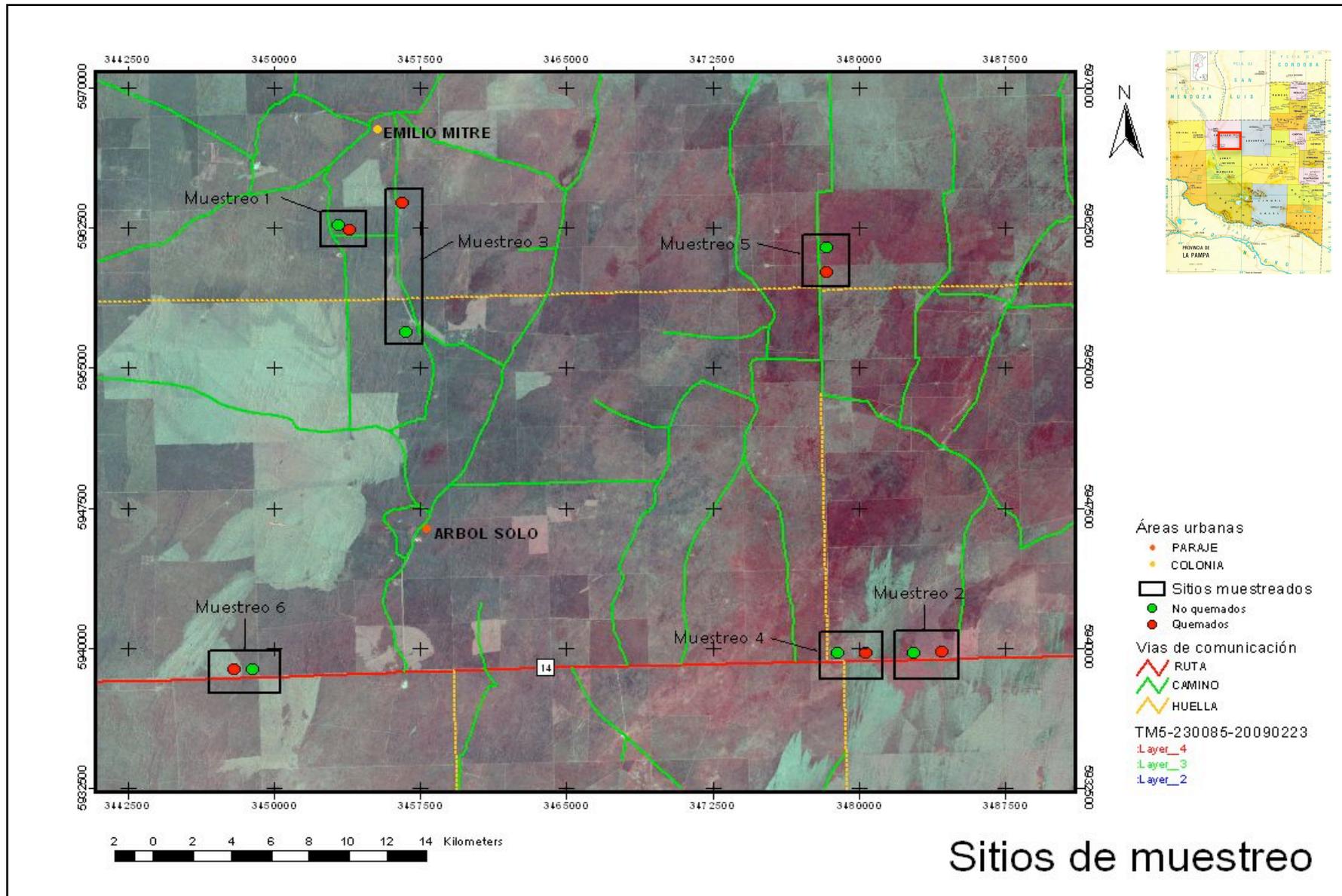


Figura 1: Ubicación geográfica del área de estudio y de los 6 sitios de muestreo.

Metodología

Se seleccionaron 6 áreas quemadas y sus respectivos controles a partir de imágenes del satélite Landsat 5 TM, con el objetivo de determinar su posicionamiento geográfico y poder ubicarlas posteriormente en el campo. Como no se pudo establecer la fecha exacta de los incendios se determinó el intervalo entre las fechas de las imágenes anterior y posterior al mismo (Tabla 1 del Apéndice 1). Se procesaron imágenes desde el año 2000 en adelante, con Path 229 ó 230 y Row 085. En la selección se tuvo en cuenta que las áreas quemadas no hayan sufrido fuegos más de una vez en el periodo considerado y que las áreas control no se hayan quemado ni durante el periodo ni en los años previos al mismo. Los viajes de caracterización de la fisonomía actual y de evaluación de la abundancia-cobertura se realizaron en los meses de noviembre y diciembre de 2011 y marzo de 2012.

En cada una de las 12 áreas (6 quemadas y 6 no quemadas) se delimitaron 3 polígonos de 40000 m². Para esta delimitación se seleccionó un sector relativamente homogéneo en cada área y alejado de alambrados y picadas para evitar el efecto borde. Dentro de cada polígono se realizaron 3 transectas de 50 m de largo cada una, separadas entre sí por 50 m de distancia. En cada transecta se realizó un censo fitosociológico utilizando la metodología de Braun-Blanquet (1965) de abundancia-cobertura de vegetación. Se evaluó composición florística, cobertura (vegetación, suelo y broza), estructura y tipos biológicos dominantes, considerando una faja de 5 m (2,5 m a cada lado de la transecta). Para obtener los datos de cobertura de vegetación, suelo y broza en cada uno de los polígonos se promediaron los valores de las 3 transectas dentro de cada polígono y se obtuvo el valor de cobertura para cada una de las 12 áreas promediando los valores de los 3 polígonos.

Procesamiento digital

Las 7 bandas de cada imagen satelital se obtuvieron de las páginas web del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) y del United States Geological Survey (USGS). Para cada imagen se generó una imagen multibanda, en la cual se unieron las bandas de igual resolución espacial (1 a 5 y 7) y se obtuvo una imagen compuesta. La unión de las bandas se realizó mediante la herramienta Layer Stack presente en el menú Utilities, dentro del menú Image Interpreter del programa ERDAS IMAGINE. Una vez obtenidas las imágenes multibandas se procedió a la corrección geométrica mediante la reproyección de las mismas, ya que se encontraban en proyección UTM (Universal Transversal Mercator) y

en nuestro país el sistema de proyección oficialmente adoptado es Gauss-Krüger, conocido internacionalmente como Transversa Mercator (TM).

El sistema Gauss-Krüger divide a Argentina en 7 fajas de 3° de ancho, las cuales presentan parámetros diferentes. Se utilizaron los parámetros de la faja 3 por ser la más apropiada para el área de trabajo, y los mismos fueron:

Sistema de proyección: Transversa Mercator

Elipsoide (o esferoide): WGS84

Escala en el meridiano central: 1

Meridiano de tangencia: 66:00:00.000000 W

Latitud de referencia: 90:00:00.000000 S

Falso este: 3500000.000000 m.

Falso norte: 0.000000 m.

Para realizar la reproyección se trabajó con la herramienta Geometric Correction del menú Raster presente en la vista del programa ERDAS IMAGINE. Una vez reproyectadas, se procedió a realizar un ajuste mediante alineación de las mismas a través de la herramienta específica de Image Analysis del programa Arcview. El algoritmo de remuestreo utilizado fue el de vecino más próximo para conservar los valores digitales originales de los píxeles.

El siguiente trabajo consistió en la corrección radiométrica de las imágenes satelitales con el objetivo de que los valores de NDVI a calcular sean comparables espacial y temporalmente. Para esto fue necesario convertir los valores digitales de las imágenes a valores de reflectancia. Se corrigieron las imágenes correspondientes a fechas anteriores y posteriores a los incendios registrados y a las estaciones productivas siguientes. La corrección se realizó con el programa ERDAS IMAGINE y se utilizó para la misma la guía de Firl y Carter (2011), la cual fue elaborada para el programa ArcGIS, y en este caso se adaptó para ser usada con la herramienta MODELER de ERDAS. A efectos de eliminar las áreas residuales producto de la georreferenciación de las imágenes cuyos valores de píxel en todas las bandas es igual a cero, se recortó cada imagen, limitando el área útil a un rectángulo que abarca a todos los sitios de muestreo (Figura 2).

El primer paso de la corrección consistió en transformar los datos de Landsat 5 TM a sus equivalentes en Landsat 7 ETM, debido a que el método para la corrección fue desarrollado para las imágenes de este último satélite. Para dicha corrección se utilizó la siguiente ecuación:

$$DN7 = (\text{slope}_\lambda * DN5) + \text{intercept}_\lambda \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde DN7 son los valores digitales equivalentes de Landsat 7 ETM obtenidos, DN5 son los valores digitales de Landsat 5 TM y *slope* e *intercept* son valores específicos para cada banda que se muestran en la Tabla 2 del Apéndice 1.

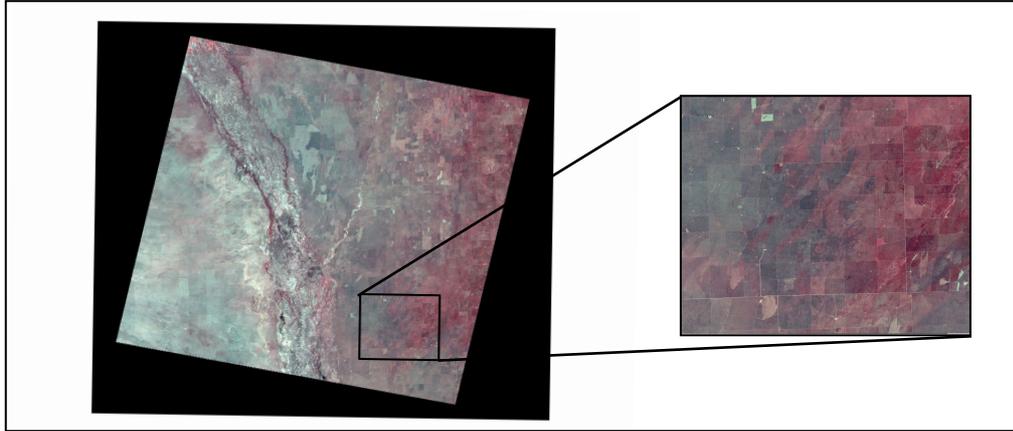


Figura 2: Imagen satelital completa, incluyendo áreas residuales (izquierda) y rectángulo que abarca todos los sitios de muestreo (derecha).

El siguiente paso en la corrección consistió en transformar los valores digitales de Landsat 7 ETM a radiancia, para lo que se utilizó la siguiente ecuación:

$$L_{\lambda} = (\text{gain}_{\lambda} * \text{DN7}) + \text{bias}_{\lambda} \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde L_{λ} es el valor calculado de radiancia [Watts / (sq. meter * mm)], DN7 son los valores digitales equivalentes de Landsat 7 ETM, *gain* y *bais* son valores específicos para cada banda que se muestran en la Tabla 3 del Apéndice 1.

Finalmente para culminar la corrección se transformaron los valores digitales de radiancia a reflectancia, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

$$R_{\lambda} = (\pi * L_{\lambda} * d^2) / [E_{\text{sun},\lambda} * \sin(\theta_{SE})] \quad (\text{Ecuación 4})$$

donde R_{λ} (relación sin unidades) es la reflectancia, L_{λ} es la radiancia calculada en el paso anterior, d es la distancia entre la Tierra y el sol (en unidades astronómicas), $E_{\text{sun},\lambda}$ es un valor específico de radiancia emitida por el sol en cada banda (Tabla 4, Apéndice 1) y θ_{SE} es el ángulo de elevación del sol.

Los valores de d y de θ_{SE} dependen de cada imagen, del día en el año en que fue capturada y del momento del día. El ángulo de elevación del sol y el día del año en que la

imagen fue tomada se pueden obtener del archivo de encabezamiento (header file) que viene incluido con cada imagen. El ángulo de elevación se encuentra como "SUN_ELEVATION". Está dado en grados pero es necesario transformarlo a radianes al incluirlo en la Ecuación 4. El día del año figura como "DATE_HOUR_CONTACT_PERIOD", en el formato "YYDDDDHH" (AADDH), donde las tres "D" indican el día del año. Si el dato del día no aparece en el encabezamiento, como ocurrió con algunas de las imágenes, el mismo se puede calcular a partir de la Tabla 5 que se encuentra en el Apéndice 1. Una vez obtenido el día del año se debe utilizar la tabla (Tabla 6, Apéndice 1) elaborada por Chander *et al* (2009) para encontrar la distancia entre la Tierra y el sol (d).

Al momento de realizar las correcciones se pueden corregir todas las bandas de las imágenes o, como se hizo en este trabajo, sólo las que están involucradas en el cálculo del NDVI (bandas 3 y 4). El NDVI se obtuvo introduciendo la Ecuación 1 en la herramienta MODELER del programa ERDAS. Los valores de ρ_{IR} correspondieron a la reflectancia de la banda 4 y los de ρ_R a la reflectancia de la banda 3, ambos obtenidos a partir de la corrección.

Una vez corregidas las imágenes fueron transformadas a puntos a través de la herramienta Raster to Vector del programa ERDAS. Cada punto corresponde a un píxel y retiene el valor de NDVI del mismo. De esta forma se garantiza la eficiencia de la intersección entre los archivos de puntos y los polígonos de cada muestreo para obtener los valores de NDVI.

Evaluación de la información y análisis de los datos

Las distintas especies de las comunidades de los sitios analizados se ordenaron según la clasificación de tipos biológicos de Raunkiaer. Esta clasificación establece grupos de especies por la ubicación de las yemas de renuevo (Terradas, 2001).

Para determinar los valores de NDVI se calculó el promedio de cada polígono y el promedio entre los tres polígonos de cada sitio quemado y no quemado. Así se obtuvieron dos valores promedio de NDVI para cada muestreo por cada fecha considerada. La relación NDVI-cobertura se analizó mediante el coeficiente de correlación de Spearman (r_2), considerando a la cobertura vegetal como la variable independiente y al NDVI como la dependiente. Su uso fue más adecuado en este trabajo por la baja disponibilidad de datos ($n=12$, considerando los pares NDVI-cobertura de las 6 áreas quemadas y de las 6 no quemadas). Los coeficientes se calcularon con el programa InfoStat Versión 2012e. A

partir de la prueba de Mann Whitney, se evaluó si existen diferencias significativas entre la cobertura vegetal del tratamiento y del control. Los resultados de este análisis se obtuvieron con una versión demo del programa GraphPad Prism 6.

En cuanto a la variación del NDVI desde el momento de fuego a la actualidad, la misma se analizó promediando dos valores del índice de dos fechas diferentes para cada sitio previos al fuego y dos fechas por cada estación de crecimiento posterior, una a principio y una a fines de la misma. Esto último se hizo para que los valores medios de los sitios sean representativos del periodo al que corresponden. También se consideró el valor del índice inmediatamente posterior al fuego. La comparación del índice entre el tratamiento y el control se realizó mediante la prueba z para las medias de dos muestras, para antes del fuego y para las estaciones de crecimiento posteriores (donde se promediaron los valores de NDVI de dos fechas), y mediante la prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales, para determinar la diferencia entre valores medios de NDVI inmediatamente posteriores al fuego.

Por otra parte se calculó el coeficiente de regresión lineal (R^2), con el programa InfoStat Versión 2012e, entre los valores de NDVI del tratamiento y del testigo para los valores promedios de las estaciones de crecimiento de los tres años posteriores al fuego de todos los sitios. En este análisis se consideró a los valores del índice del sitio no quemado como la variable independiente y a los del sitio quemado como la variable dependiente.

Resultados y discusión

En cada sitio muestreado se realizó un análisis descriptivo de las comunidades vegetales. A partir de la clasificación de Raunkiaer se elaboró para cada sitio un espectro biológico en relación a la superficie cubierta por las especies de cada grupo (Figura 3). Los grupos que se hallaron fueron fanerófitas, caméfitas, hemicriptófitas y terófitas. En los muestreos 1, 3 y 6 las especies hemicriptófitas fueron las dominantes, mientras que en el 2 y el 4 codominaron junto con las caméfitas. A diferencia de los demás, el muestreo 5 presentó el 50% de su superficie cubierto por caméfitas y en segundo lugar por hemicriptófitas. En todos los sitios las fanerófitas y las terófitas fueron las especies menos presentes, variando su cobertura de 1 a 15% aproximadamente. La composición florística de las comunidades de los 6 sitios analizados se puede observar en la Tabla 1.

En general los pastizales samófilos de *Elyonurus muticus* y *Hyalis argentea* estuvieron conformados por 3 estratos, uno basal de 0 a 0,25 m, constituido fundamentalmente por gramíneas bajas y herbáceas, uno intermedio de 0,25 a 0,50-1 m, con subarbustos y gramíneas, y un estrato arbustivo de 0,50-1,00 a 1,50-1,75 m de cobertura variable pero nunca dominante sobre el estrato intermedio. Los pastizales encontrados variaron en un gradiente que comenzó con pastizales prácticamente “puros” de *Hyalis argentea* y *Elyonurus muticus* con sólo dos estratos (sin estrato arbustivo), a pastizales muy invadidos por arbustos (una superficie cubierta por arbustos de entre 25 y 30%). En los pastizales sin arbustos sólo se encontraron en forma aislada especímenes de *Acantholipia seriphioides*, *Junellia seriphioides* y *Prosopis alpataco*, mientras que en los invadidos se hallaron importantes superficies cubiertas por distintas especies arbustivas, como *Acantholipia seriphioides*, *Condalia microphylla*, *Chuquiraga erinacea*, *Junellia seriphioides*, *Larrea divaricata*, *Lycium chilense*, *Lycium gilliesianum*, *Prosopidastrum angusticarpum*, *Prosopis alpataco*, *Prosopis flexuosa* y *Senecio subulatus*. La cobertura de las especies principales del pastizal, *Hyalis argentea* y *Elyonurus muticus*, fue muy variable, en relación no sólo a la presencia de otras especies, sino también a la cobertura vegetal total que tuvieron los campos.

Los arbustales presentaron como especie dominante a *Larrea divaricata* y como acompañantes a los arbustos observados en el pastizal y otras especies no arbustivas estivales. La estructura de esta fisonomía presentó 4 estratos verticales, uno bajo de 0 a 0,2 m, uno gramíneo-herbáceo de 0,2 a 0,5 m, uno arbustivo bajo de 0,5 a 1-1,5 m y uno arbustivo alto de 1-1,5 a 2-2,5 m, dominado por *Larrea divaricata*.

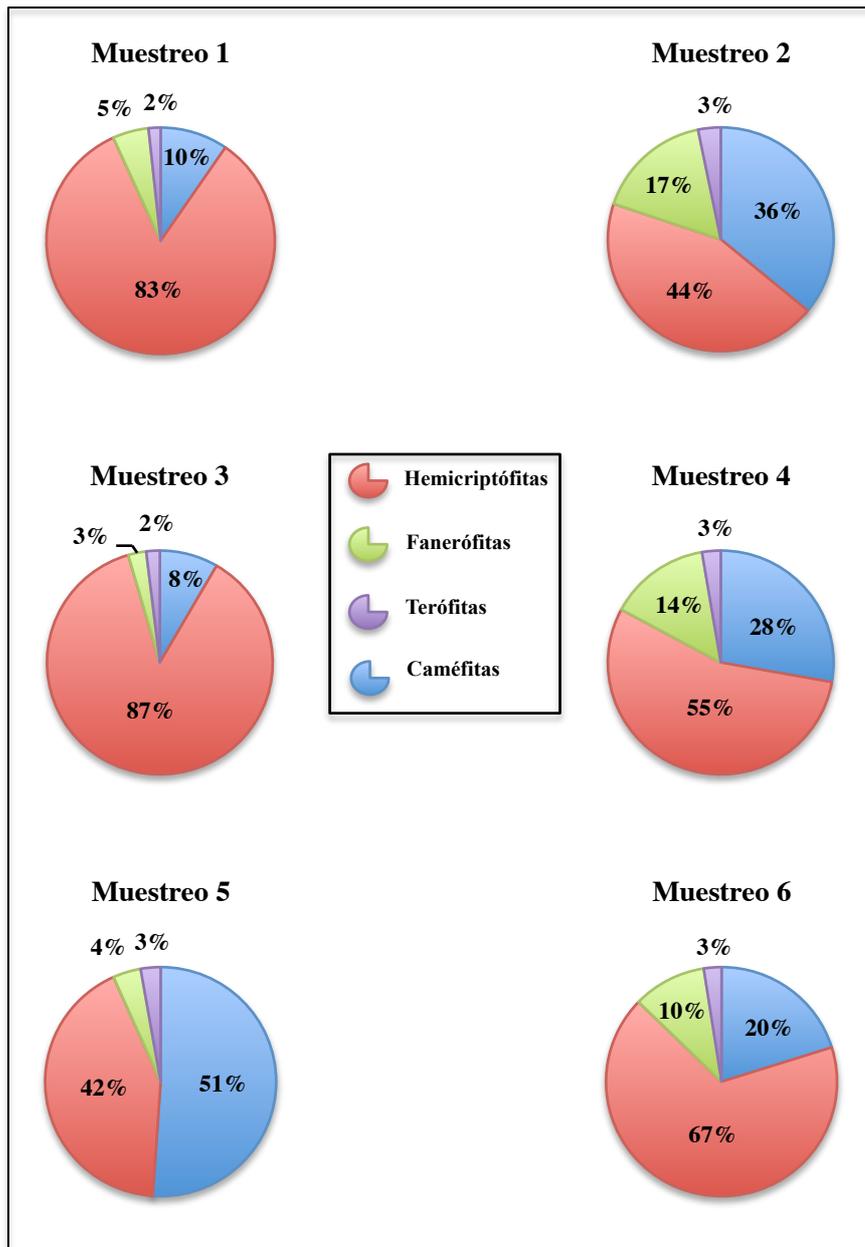


Figura 3: Espectro biológico de cada sitio de muestreo.

Todas las áreas muestreadas exhibían indicios de la presencia de ganado vacuno. La evidencia más convincente, además de huellas y excretas, fue encontrar las matas de las especies más apetecidas consumidas al ras del suelo, lo que en muchos casos demostró la existencia de un manejo inadecuado de los recursos.

Tabla 1: Composición florística de cada uno de los 6 sitios analizados.

Especies	Muestreos					
	1	2	3	4	5	6
<i>Acantholippia seriphioides</i> (A. Gray) Moldenke	X	X	X	X	X	X
<i>Aristida adscensionis</i> Linné						X
<i>Aristida mendocina</i> Philippi						X
<i>Aristida spegazzinii</i> Arechavaleta	X		X	X		
<i>Aristida subulata</i> Henrard	X	X	X	X	X	
<i>Baccharis coridifolia</i> De Candolle						X
<i>Baccharis crispa</i> Sprengel	X	X	X	X	X	
<i>Baccharis pingraea</i> De Candolle	X	X	X	X		
<i>Baccharis ulicina</i> Hooker et Arnott		X	X	X	X	
<i>Bothriochloa springfieldii</i> (Gould) Parodi	X	X	X	X	X	X
<i>Brachyclados lycioides</i> Don						X
<i>Bromus brevis</i> Nees		X			X	
<i>Cassia aphylla</i> Cavanilles					X	
<i>Cenchrus pauciflorus</i> Bentham			X			
<i>Chuquiraga erinacea</i> Don		X	X	X	X	X
<i>Condalia microphylla</i> Cavanilles	X	X		X	X	X
<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist		X	X	X	X	
<i>Cynodon hirsutus</i> Stent						X
<i>Digitaria californica</i> (Benth.) Henrard	X	X	X	X	X	X
<i>Elyonurus muticus</i> (Spreng.) O. Kuntze	X	X	X	X	X	X
<i>Ephedra ochreatea</i> Miers				X		X
<i>Ephedra triandra</i> Tul. em J. H. Hunziker		X		X	X	
<i>Eragrostis cilianensis</i> (All.) Vign. Lutati						X
<i>Euphorbia collina</i> Phil. var. <i>collina</i>			X	X		X
<i>Euphorbia serpens</i> (H. B. K.), var. <i>montevidensis</i> (Bois.s) Cabrera						X
<i>Gaillardia megapotamica</i> (Spreng.) Barker, var. <i>megapotamica</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Glandularia hookeriana</i> Covas et Schnack						X
<i>Glandularia pulchella</i> Sweet					X	X
<i>Hyalis argentea</i> Don, var. <i>latisquama</i> Cabrera	X	X	X	X		X
<i>Junellia seriphioides</i> (Gillies & Hook. ex Hook.) Moldenke	X	X	X	X	X	X
<i>Larrea divaricata</i> Cavanilles		X		X	X	X
<i>Lecanophora heterophylla</i> (Cav.) Krapovickas			X		X	X
<i>Lycium chilense</i> Miers		X		X	X	X
<i>Lycium gilliesianum</i> Miers		X			X	
<i>Lycium tenuispinosum</i> Miers						X
<i>Panicum urvilleanum</i> Kunth	X	X	X	X	X	X
<i>Plantago patagonica</i> Jacquin	X	X	X	X	X	X
<i>Poa lanuginosa</i> Poirét	X		X	X	X	X
<i>Portulaca oleracea</i> Linné						X
<i>Prosopidastrum angusticarpum</i> R.A. Palacios & Hoc		X	X	X	X	
<i>Prosopis alpataco</i> Philippi		X		X	X	X
<i>Prosopis caldenia</i> Burkart					X	
<i>Prosopis flexuosa</i> De Candolle	X	X	X	X	X	
<i>Senecio subulatus</i> Don ex Hooker et Arnott		X		X	X	X
<i>Setaria leiantha</i> Hackel						X

<i>Setaria leucopila</i> (Scrib. et Merrill) Schumann			X		X	X
<i>Silene antirrhina</i> Linné		X				
<i>Solanum eleagnifolium</i> Cavanilles		X				
<i>Sorghastrum pellitum</i> (Hack.) Parodi	X		X			X
<i>Sphaeralcea crispa</i> Baker					X	
<i>Sporobolus subinclusus</i> Phil	X		X			X
<i>Stipa ichu</i> (Ruiz & Pav.) Kunth		X	X	X	X	
<i>Stipa tenuis</i> Philippi		X	X	X	X	
<i>Stipa tenuissima</i> Trinius					X	
<i>Thelesperma megapotamicum</i> (Spreng.) O. Kuntze	X	X	X	X	X	X
<i>Trichloris crinita</i> (Lag.) Parodi					X	

Los valores de cobertura vegetal, suelo y broza que fueron establecidos para el tratamiento y el control de cada sitio se pueden observar en el Apéndice 2, mientras que la Figura 4 muestra estos resultados en forma resumida. Según la prueba Mann Whitney, aplicada para detectar diferencias en la cobertura vegetal de tratamiento y control, se determinó que sólo los sitios 3 (U=33 y p=0,3942) y 4 (U=31,5 y p=0,4356) presentaron iguales valores medios. Los muestreos 1 (U=22,5 y p=0,0335) y 2 (U=0 y p=0,0001) presentaron valores medios de cobertura vegetal diferentes con una mayor cobertura en el tratamiento, mientras que en los muestreos 5 (U=87,5 y p=0,0156) y 6 (U=14 y p=0,0204) fue mayor en el control. Esta diferencia en la cobertura vegetal no puede ser explicada por la ocurrencia de los fuegos debido a que los mismos tuvieron lugar varios años antes de realizado el relevamiento a campo, lo que implica un importante periodo de recuperación de la comunidad. Además otros factores han influido en la variación de la cobertura a través del tiempo, como por ejemplo el pastoreo.

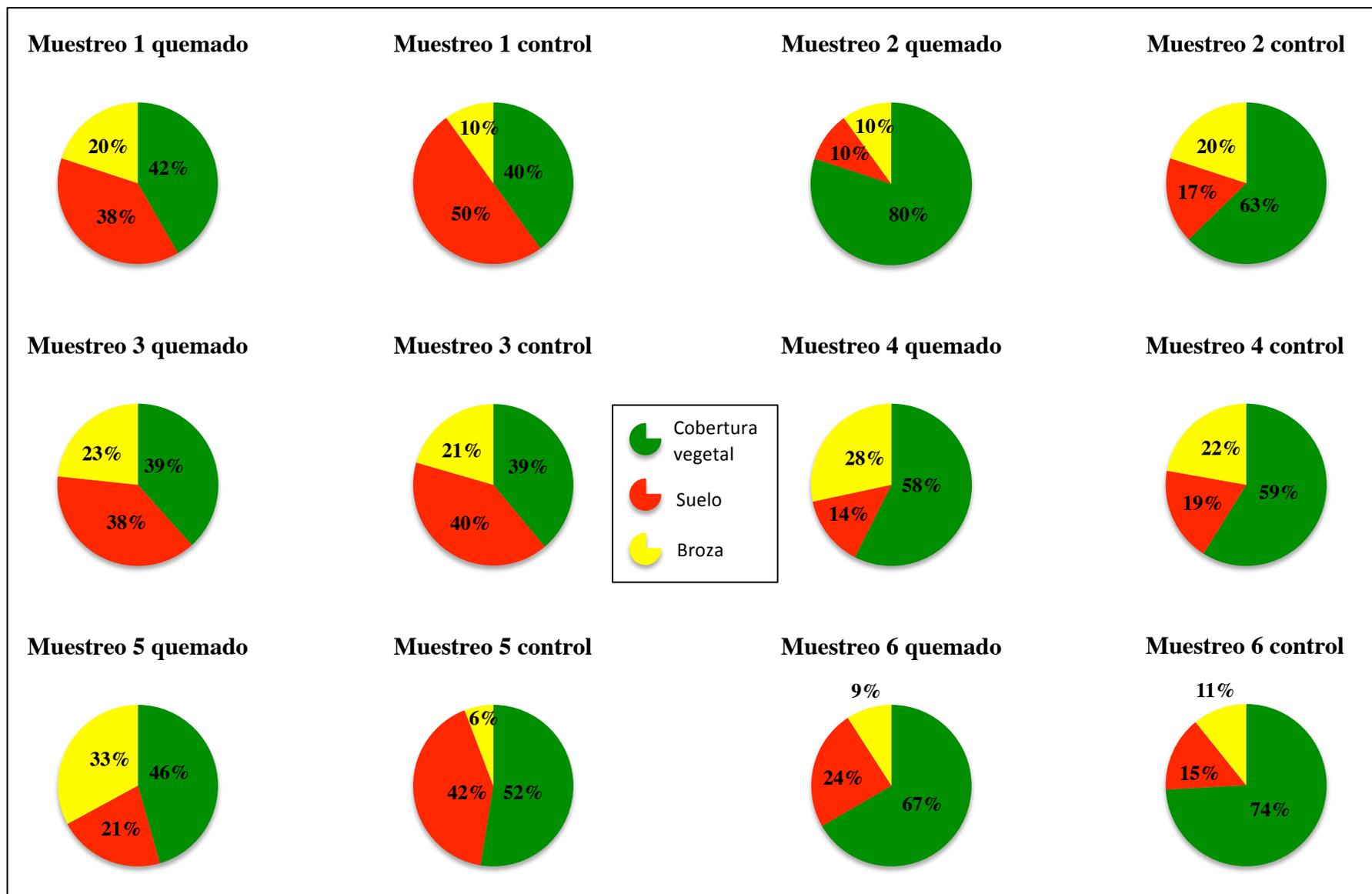


Figura 4: Porcentaje de cobertura vegetal, suelo y broza para el tratamiento y el sitio control de cada muestreo.

En el análisis mediante el cálculo del coeficiente de Spearman (Tabla 1) se observó una muy baja asociación entre las variables ($r_2=0,55$) cuando se consideraron todos los sitios de muestreo ($n=12$, 6 pares NDVI-cobertura del tratamiento y 6 del control). Por otra parte el valor del coeficiente aumentó ($r_2=0,81$) cuando no se incluyó el muestreo que presentó arbustal ($n=10$), y fue aún mayor ($r_2=0,98$) cuando se excluyeron los pares NDVI-cobertura que correspondían a pastizales con elevada cobertura de arbustos ($n=8$), como es el caso de las áreas no quemadas de los muestreo 2 y 4.

Tablas 1, 2 y 3: Resultados del cálculo del coeficiente de Spearman entre cobertura vegetal y NDVI.

1. Todos los sitios		
Spearman correlation: Coefficients\probabilities		
	Cobertura	NDVI
Cobertura	1	0,07
NDVI	0,55	1

2. Sólo pastizales		
Spearman correlation: Coefficients\probabilities		
	Cobertura	NDVI
Cobertura	1	0,02
NDVI	0,81	1

3. Sólo pastizales "puros"		
Spearman correlation: Coefficients\probabilities		
	Cobertura	NDVI
Cobertura	1	0,01
NDVI	0,98	1

En el último análisis el valor del coeficiente de Spearman muestra un elevado grado de asociación entre las dos variables para los sitios que presentaron pastizales "puros" o con baja cobertura de arbustos. La diferencia entre el grado de asociación de las variables considerando todos los sitios muestreados y considerando sólo los pastizales de baja cobertura de arbustos puede ser explicada por el hecho de que en el segundo caso la comunidad vegetal presenta un único estrato vertical principal, y la cobertura y el NDVI son determinados por ese estrato. En cambio en el arbustal hay varios estratos en la estructura vertical de la vegetación que aportan a la cobertura, y sus reflectancias

contribuirán proporcionalmente en el cálculo del NDVI, pudiendo ser predominante la correspondiente al arbustal.

Los valores de NDVI obtenidos para cada muestreo se presentan en el Apéndice 3. En el análisis de la variación del índice a través del tiempo fueron considerados los valores de la precipitación acumulada de los 12 meses previos a la fecha de la imagen considerada. Estos valores permiten explicar algunas tendencias. Diferentes trabajos (Wang et al, 2001; Wang et al, 2003; Yang et al, 1997; Weiss et al; 2004) han demostrado que la precipitación es un fuerte predictor de los patrones regionales del NDVI, y que el índice se correlaciona mejor con datos de precipitación acumulada de periodos de 12 a 15 meses. Los datos de precipitación se extrajeron de las páginas web de la Dirección General de Estadística y Censos de la provincia de La Pampa (www.estadisticalapampa.gov.ar) y de la Policía de la provincia de La Pampa (www.policia.lapampa.gov.ar) y corresponden a la localidad de Santa Isabel.

Los resultados del análisis estadístico, obtenidos mediante las pruebas z y t, indicaron que los valores medios de NDVI del sitio quemado y del no quemado fueron diferentes en prácticamente todos los muestreos y para todos los tiempos. Sin embargo el cálculo del coeficiente de regresión lineal (Figura 5) entre el tratamiento y el control permitió determinar la existencia de una relación lineal entre ambos grupos de datos ($R^2=0,81$ y pendiente de la recta 0,79, ver Apéndice 4). Esto significa que a medida que aumentan los valores del índice del sitio no quemado también lo hacen los del tratamiento, indicando la rápida recuperación de este último.

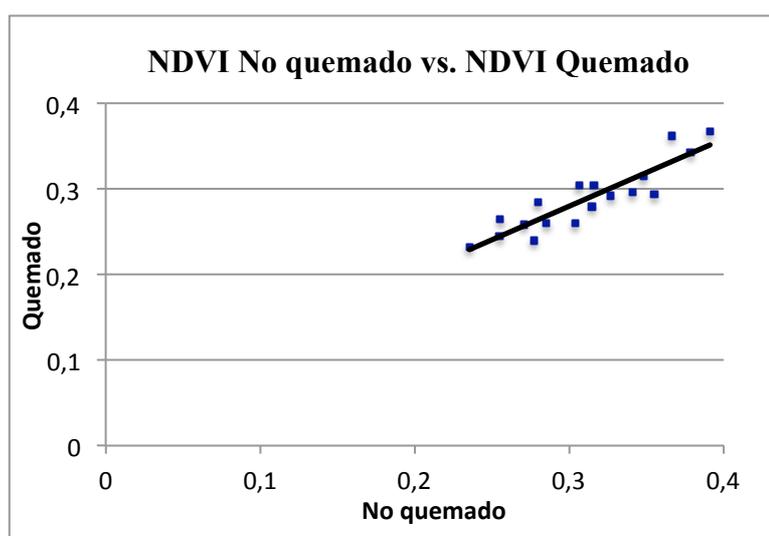


Figura 5: Gráfico de regresión lineal entre los valores de NDVI de los sitios quemados y los valores de NDVI de sus respectivos controles.

En el caso del muestreo 1, un pastizal "puro", se observó una caída en el valor del índice del tratamiento luego del fuego, seguida por una rápida recuperación. A su vez el NDVI del sitio no quemado también presentó un importante aumento en la estación de crecimiento siguiente al fuego. Estos elevados valores, así como los del periodo 2004-2005, pueden explicarse por las abundantes precipitaciones que se sucedieron en los meses previos a las fechas de las imágenes (Figura 6a). Los valores de NDVI medios del sitio quemado y del control sólo fueron estadísticamente iguales, según los resultados de la prueba z y para este muestreo, en los periodos 2005-2006 ($p=0,57$) y 2011-2012 ($p=0,95$). El muestreo 3 también se trató de un pastizal "puro". Las medias sólo fueron iguales en el periodo 2007-2008 ($p=0,81$). Ambos tratamientos presentaron el mismo comportamiento a pesar de estar el control ubicado a una distancia prolongada del pastizal quemado. Este muestreo, de igual fisonomía que el 1, presentó un comportamiento similar a este último a partir de la estación de crecimiento de los años 2006-2007 (Figura 6c). Ambos muestreos presentaron valores prácticamente constantes de NDVI (entre 0,2 y 0,3) después de ese verano, con una caída en la estación 2008-2009.

El muestreo 2 fue un pastizal con arbustos, con mayor densidad de éstos en el control. La caída del NDVI luego del fuego fue muy notoria porque el valor previo del sitio quemado era superior a 0,4. En este caso también se puede considerar que los elevados valores de NDVI se deben a las abundantes precipitaciones de los 12 meses previos a la fecha considerada para el cálculo del índice. Antes de quemarse, las medias del índice del tratamiento y del control fueron iguales ($p=0,47$). Luego, si bien se hicieron similares en algunas estaciones, fueron estadísticamente diferentes. El sitio no quemado siempre tuvo valores superiores al quemado, lo que puede deberse a que presentó una mayor superficie cubierta por arbustos (Figura 6b). El muestreo 4 presentó la misma fisonomía que el 2, y al igual que en éste la densidad de arbustos fue superior en el control. Los valores de NDVI en el sitio no quemado se mantuvieron prácticamente constantes desde antes del fuego a la actualidad (Figura 6d). Los valores de ambos sitios fueron muy similares al primer año después del fuego, pero sólo fueron estadísticamente iguales en las fechas previas al mismo ($p=0,33$). Al igual que en el muestreo 2 el control presentó mayores valores de NDVI, determinados por una mayor superficie cubierta por arbustos. El muestreo 6 también se trató de un pastizal con arbustos, pero la densidad de éstos fue similar en tratamiento y control. Las medias de NDVI sólo fueron iguales antes de quemarse ($p=0,93$), pero se hicieron similares al segundo año luego del fuego (Figura 6f).

A diferencia de los demás muestreos, el 5 presentó un arbustal, y el sitio quemado tuvo un valor mayor de NDVI antes del fuego, el cual fue seguido de una brusca caída. Al año de ocurrido el fuego los valores de ambos sitios se hicieron similares, variando en los años subsiguientes (Figura 6e). Las medias sólo fueron iguales en los periodos 2007-2008 ($p=0,65$) y 2011-2012 ($p=0,40$). El rápido ascenso del valor del índice demuestra que los arbustales también presentan una importante capacidad de recuperación después de un disturbio, al igual que los pastizales.

Si bien estadísticamente los valores entre tratamiento y control fueron diferentes para la mayoría de las fechas en todos los sitios, observando los gráficos de la Figuras 6 (a, b, c, d, e y f) se puede apreciar que en varios tiempos los valores de NDVI son muy similares. La prueba estadística aplicada determina que las medias son diferentes porque las varianzas de los valores del índice son muy pequeñas (alrededor de 10^{-4} o 10^{-5}). La causa es que los valores de NDVI de los píxeles para un mismo área son muy similares entre sí y muy próximos a la media y al haber poca variabilidad entre los datos, la prueba arroja un valor p muy bajo.

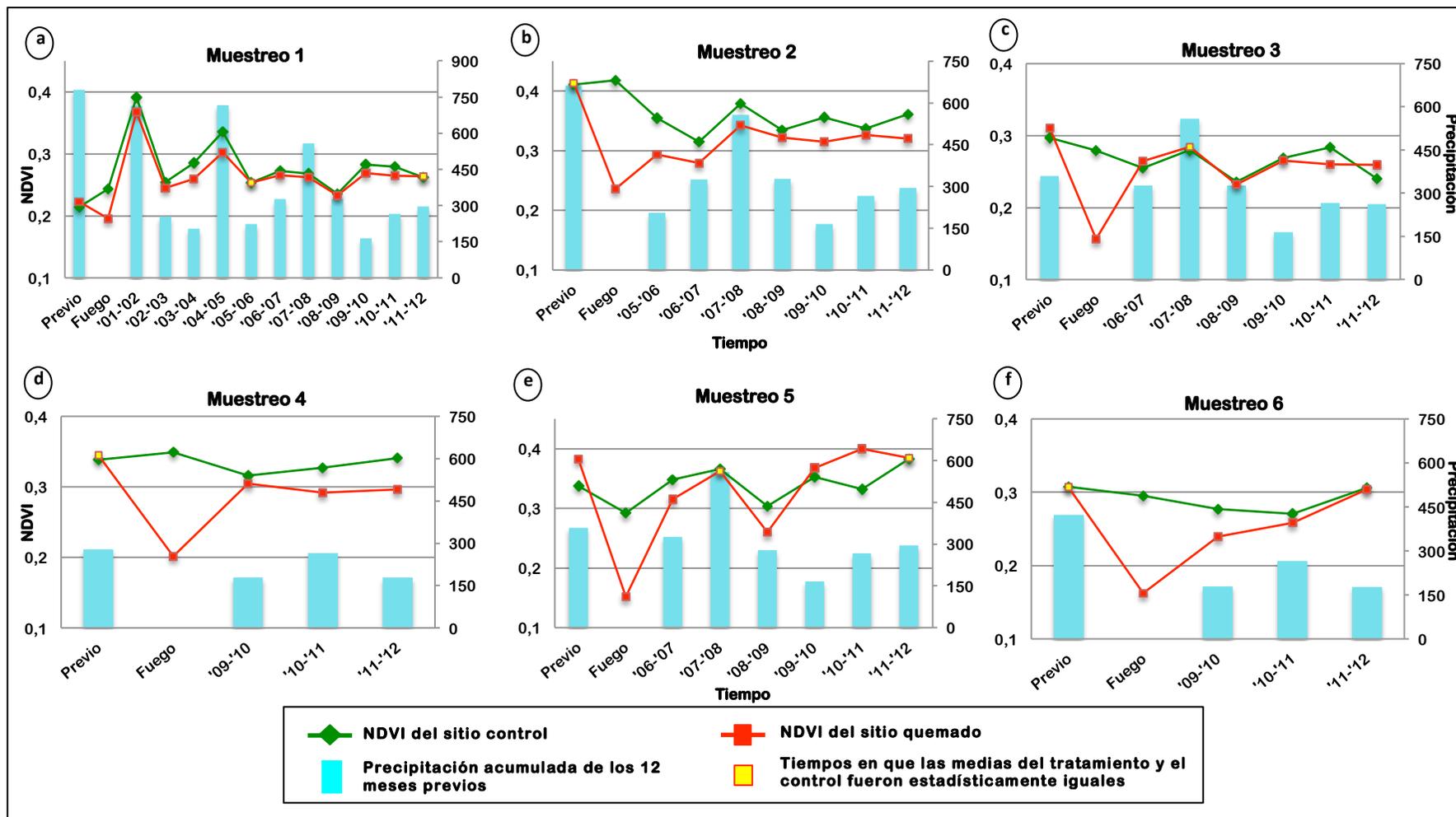


Figura 6 (a, b, c, d, e y f): Valores de NDVI desde antes del fuego hasta la actualidad de los seis muestreos. Como información adicional se presenta en el eje vertical secundario la precipitación acumulada en los 12 meses previos a las fechas de las imágenes, correspondiente a la localidad de Santa Isabel.

Conclusión

Como han demostrado muchas otras investigaciones, el uso de la teledetección, en este caso a partir del cálculo del NDVI, es una herramienta práctica para determinar variaciones en las comunidades vegetales. A través de la descripción de la variación del índice en las seis áreas se puede establecer que las diferentes comunidades analizadas exhiben una rápida recuperación. En cuanto a la relación NDVI-cobertura vegetal y a partir de los resultados obtenidos, se podría afirmar que el seguimiento de la evolución del índice puede ser considerado un buen estimador de la recuperación de la cobertura siempre que se trate de un pastizal. En cambio no lo es en aquellos sitios que presentan varios estratos verticales bien diferenciados porque es distinta la evolución de cada estrato. De todos modos el número de sitios muestreados es bajo, por lo que sería conveniente ampliar este estudio incorporando nuevas áreas, principalmente cubiertas por arbustal.

Referencias bibliográficas

- Braun-Blanquet, J. 1965. Plant sociology: The study of plant communities. Traducción rev. y ed. por C. D. Fuller y H. S. Conard. Hafner, Londres. 439 p.
- Bóo, R. M. 1990. Algunos aspectos a considerar en el empleo del fuego. Jornada pampeana sobre pastizales naturales y uso del fuego. UNLPam, 5(1):63-80.
- Cano, E., Fernández B. y M. A. Montes. 1980. Vegetación de la provincia de La Pampa. En: Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. INTA, Provincia de La Pampa, UNLPam (Eds.). 493 pp.
- Cano, E., Estelrich, H. D. y H. Holgado. 1985. Acción del fuego en los estratos gramíneos y arbustivos de un bosque de caldén. Revista de la Facultad de Agronomía, UNLPam, 1 (1-2):81-95.
- Cano, E., 1988. Pastizales Naturales de La Pampa. Tomo I: Descripción de las especies más importantes. AACREA – Provincia de La Pampa.
- Casagrande G. y H. A. Conti. 1980. Clima de la provincia de La Pampa. En: Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. INTA, Provincia de La Pampa, UNLPam (Eds.). 493 pp.
- Chander G., Markham B. L. y D. L. Helder, 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote Sensing of Environment, 113:893-903.
- DeBano, L. F., Neary, D. G. y P. F. Ffolliott. 1998. Fire's effects on ecosystems. John Wiley & Sons. Nueva York. 333 p.
- Defossé, G. y M. F. Urretavizcaya, 2003. Introducción a la ecología del fuego. En Kunst, C. R., Bravo, S. y J. L. Panigatti (Ed.). Fuego en los ecosistemas argentinos. INTA. Santiago del Estero, Argentina. 332 p.
- Dentoni, M. C. 2003. Meteorología y el manejo del fuego. En Kunst, C. R., Bravo, S. y J. L. Panigatti (Ed.). Fuego en los ecosistemas argentinos. INTA. Santiago del Estero, Argentina. 332 p.
- Di Bella, C.M., Posse, G., Beget, M.E., Fischer, M.A., Mari, N. y S. Veron. 2008. La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. Ecosistemas, 17(3):39-52.
- Díaz Delgado, R. y X. Pons. 1999. Seguimiento de la regeneración vegetal post-incendio mediante el empleo del NDVI. Revista de Teledetección, 12:73-77.

- Díaz Delgado, R. 2003. Efecto de la recurrencia de los incendios sobre la resiliencia post-incendio de las comunidades vegetales de Cataluña a partir de imágenes de satélite. *Ecosistemas* 12(3). ISSN 1697-2473.
- Dirección General de Estadística y Censos de la provincia de La Pampa, http://www.estadisticalapampa.gov.ar/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=52&Itemid=74.
- Firl, G. J. y L. Carter. 2011. Lesson 10: Calculating Vegetation Indices from Landsat 5 TM and Landsat 7 ETM+ Data. Universidad Estatal de Colorado.
- INTA, Provincia de La Pampa, UNLPam (Eds.). 1980. Inventario integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa (Argentina).
- Kunst, C. R., Bravo, S. y J. L. Panigatti. (Ed.). 2003. Fuego en los ecosistemas argentinos. INTA. Santiago del Estero. Argentina. 332 p.
- Loboda, T. V. y I. A. Csiszar. 2006 Reconstruction of fire spread within wildland fire events in Northern Eurasia from the MODIS active fire product. *ScienceDirect*, 56:258-273.
- Maldonado Pinedo, D. 1980. Uso actual de las tierras de la provincia de La Pampa. En: Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. INTA, Provincia de La Pampa, UNLPam (Eds.). 493 pp.
- Molinero, I. 1990. La política del fuego en los parques nacionales de Estados Unidos. *Jornada pampeana sobre pastizales naturales y uso del fuego*. UNLPam, 5(1):155-159.
- Musto, J. C. y A. Pittaluga, 1980. Capacidad de uso de las tierras de la provincia de La Pampa. En: Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. INTA, Provincia de La Pampa, UNLPam (Eds.). 493 pp.
- Peña Zubiarte, C. A., Maldonado Pinedo, D., Martínez, H. y R. Hevia. 1980. Suelos de la provincia de La Pampa. En: Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. INTA, Provincia de La Pampa, UNLPam (Eds.). 493 pp.
- Policía de la provincia de La Pampa, <http://www.policia.lapampa.gov.ar/llovias.php>.
- Salazar Lea Plaza, J. C. 1980. Geomorfología de la provincia de La Pampa. En: Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa. INTA, Provincia de La Pampa, UNLPam (Eds.). 493 pp.
- Sipowicz, A. H. 1994. Ecología y manejo del fuego en ecosistema del caldenal. *Boletín de divulgación técnica*. N° 51. E.E.A. Anguil INTA.

- Terradas J. 2001. Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunicaciones y paisajes. Ed. OMEGA. Barcelona. España.
- Wang, J.; Price, K. P. y P. M. Rich. 2001. Spatial Patterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains. *Int. J. Remote Sensing*. 22 (18):3827-3844.
- Wang, J.; Rich, P. M. y K. P. Price. 2003. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *Int. J. Remote Sensing*. 24(11):2345-2364.
- Weiss, J. L.; Gutzler, D. S.; Allred Coonrod, J. E. y C. N. Dahm. 2004. Long-term vegetation monitoring with NDVI in a diverse semi-arid setting, central New Mexico, USA. *Journal of Arid Environments*. 58: 249-272.
- Yang, W.; Yang, L. y J. M. Merchant. 1997. An assessment of AVHRR/NDVI ecoclimatological relations in Nebraska, USA. *Int. J. Remote Sensing*. 18(10):2161-2180.
- Zerda, H. R. 2003. Percepción remota y SIG para el estudio del fuego. En Kunst, C. R., Bravo, S., Panigatti, J. L. (Ed.). 2003. Fuego en los ecosistemas argentinos. INTA. Santiago del Estero, Argentina. 332 p.

Apéndice 1

Tabla 1: Fechas de las imágenes previas y posteriores a los fuegos seleccionados para los muestreos.

Muestreo	Imagen previa	Imagen posterior
1	26/09/2000	12/10/2000
2	05/02/2005	09/03/2005
3	11/11/2005	30/01/2006
4	06/01/2009	16/02/2009
5	11/11/2005	30/01/2006
6	19/11/2008	21/12/2008

Tabla 2: Valores de *slope* e *intercept* para las banda 1-5 y 7, utilizados en la ecuación para transformar los valores digitales de Landsat 5 TM a Landsat 7 ETM.

Banda	Slope	Intercept
1	0.943	4.21
2	1.776	2.58
3	1.538	2.50
4	1.427	4.80
5	0.984	6.96
7	1.304	5.76

Tabla 3: Valores de *gain* y *bais* para las banda 1-5 y 7, utilizados en la ecuación para transformar los valores digitales de las imágenes a radiancia.

Banda	Gain	Bias
1	0.778740	-6.98
2	0.798819	-7.20
3	0.621654	-5.62
4	0.639764	-5.74
5	0.126220	-1.13
7	0.043898	-0.39

Tabla 4: Valores de $E_{\text{sun},\lambda}$ para las banda 1-5 y 7, utilizados en la ecuación para transformar los valores digitales de las imágenes a reflectancia.

Banda	$E_{\text{sun},\lambda}$ [Watts / (sq. meter * mm)]
1	1997
2	1812
3	1533
4	1039
5	230.8
7	84.9

Tabla 5: Tabla del número de orden de cada día en el año. Ejemplo: el 8 de agosto es el día número 220 del año (añadir un día para cualquier fecha posterior al 28 de febrero si el año en cuestión es bisiesto). Fuente: <http://www.bioxeo.com/curioso/diaano.htm>.

Día de mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29		88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30		89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31		90		151		212	243		304		365

Tabla 6: Distancia entre la Tierra y el sol (d) en unidades astronómicas para el día del año (DOY), (Chander *et al.*, 2009). Ídem anterior.

DOY	d										
1	0,98331	61	0,99108	121	1,00756	181	1,01665	241	1,00992	301	0,99359
2	0,98330	62	0,99133	122	1,00781	182	1,01667	242	1,00969	302	0,99332
3	0,98330	63	0,99158	123	1,00806	183	1,01668	243	1,00946	303	0,99306
4	0,98330	64	0,99183	124	1,00831	184	1,01670	244	1,00922	304	0,99279
5	0,98330	65	0,99208	125	1,00856	185	1,01670	245	1,00898	305	0,99253
6	0,98332	66	0,99234	126	1,00880	186	1,01670	246	1,00874	306	0,99228
7	0,98333	67	0,99260	127	1,00904	187	1,01670	247	1,00850	307	0,99202
8	0,98335	68	0,99286	128	1,00928	188	1,01669	248	1,00825	308	0,99177
9	0,98338	69	0,99312	129	1,00952	189	1,01668	249	1,00800	309	0,99152
10	0,98341	70	0,99339	130	1,00975	190	1,01666	250	1,00775	310	0,99127
11	0,98345	71	0,99365	131	1,00998	191	1,01664	251	1,00750	311	0,99102
12	0,98349	72	0,99392	132	1,01020	192	1,01661	252	1,00724	312	0,99078
13	0,98354	73	0,99419	133	1,01043	193	1,01658	253	1,00698	313	0,99054
14	0,98359	74	0,99446	134	1,01065	194	1,01655	254	1,00672	314	0,99030
15	0,98365	75	0,99474	135	1,01087	195	1,01650	255	1,00646	315	0,99007
16	0,98371	76	0,99501	136	1,01108	196	1,01646	256	1,00620	316	0,98983
17	0,98378	77	0,99529	137	1,01129	197	1,01641	257	1,00593	317	0,98961
18	0,98385	78	0,99556	138	1,01150	198	1,01635	258	1,00566	318	0,98938
19	0,98393	79	0,99584	139	1,01170	199	1,01629	259	1,00539	319	0,98916
20	0,98401	80	0,99612	140	1,01191	200	1,01623	260	1,00512	320	0,98894
21	0,98410	81	0,99640	141	1,01210	201	1,01616	261	1,00485	321	0,98872
22	0,98419	82	0,99669	142	1,01230	202	1,01609	262	1,00457	322	0,98851
23	0,98428	83	0,99697	143	1,01249	203	1,01601	263	1,00430	323	0,98830
24	0,98439	84	0,99725	144	1,01267	204	1,01592	264	1,00402	324	0,98809
25	0,98449	85	0,99754	145	1,01286	205	1,01584	265	1,00374	325	0,98789
26	0,98460	86	0,99782	146	1,01304	206	1,01575	266	1,00346	326	0,98769
27	0,98472	87	0,99811	147	1,01321	207	1,01565	267	1,00318	327	0,98750
28	0,98484	88	0,99840	148	1,01338	208	1,01555	268	1,00290	328	0,98731
29	0,98496	89	0,99868	149	1,01355	209	1,01544	269	1,00262	329	0,98712
30	0,98509	90	0,99897	150	1,01371	210	1,01533	270	1,00234	330	0,98694
31	0,98523	91	0,99926	151	1,01387	211	1,01522	271	1,00205	331	0,98676
32	0,98536	92	0,99954	152	1,01403	212	1,01510	272	1,00177	332	0,98658
33	0,98551	93	0,99983	153	1,01418	213	1,01497	273	1,00148	333	0,98641
34	0,98565	94	1,00012	154	1,01433	214	1,01485	274	1,00119	334	0,98624
35	0,98580	95	1,00041	155	1,01447	215	1,01471	275	1,00091	335	0,98608
36	0,98596	96	1,00069	156	1,01461	216	1,01458	276	1,00062	336	0,98592
37	0,98612	97	1,00098	157	1,01475	217	1,01444	277	1,00033	337	0,98577
38	0,98628	98	1,00127	158	1,01488	218	1,01429	278	1,00005	338	0,98562
39	0,98645	99	1,00155	159	1,01500	219	1,01414	279	0,99976	339	0,98547
40	0,98662	100	1,00184	160	1,01513	220	1,01399	280	0,99947	340	0,98533
41	0,98680	101	1,00212	161	1,01524	221	1,01383	281	0,99918	341	0,98519
42	0,98698	102	1,00240	162	1,01536	222	1,01367	282	0,99890	342	0,98506
43	0,98717	103	1,00269	163	1,01547	223	1,01351	283	0,99861	343	0,98493
44	0,98735	104	1,00297	164	1,01557	224	1,01334	284	0,99832	344	0,98481
45	0,98755	105	1,00325	165	1,01567	225	1,01317	285	0,99804	345	0,98469

46	0,98774	106	1,00353	166	1,01577	226	1,01299	286	0,99775	346	0,98457
47	0,98794	107	1,00381	167	1,01586	227	1,01281	287	0,99747	347	0,98446
48	0,98814	108	1,00409	168	1,01595	228	1,01263	288	0,99718	348	0,98436
49	0,98835	109	1,00437	169	1,01603	229	1,01244	289	0,99690	349	0,98426
50	0,98856	110	1,00464	170	1,01610	230	1,01225	290	0,99662	350	0,98416
51	0,98877	111	1,00492	171	1,01618	231	1,01205	291	0,99634	351	0,98407
52	0,98899	112	1,00519	172	1,01625	232	1,01186	292	0,99605	352	0,98399
53	0,98921	113	1,00546	173	1,01631	233	1,01165	293	0,99577	353	0,98391
54	0,98944	114	1,00573	174	1,01637	234	1,01145	294	0,99550	354	0,98383
55	0,98966	115	1,00600	175	1,01642	235	1,01124	295	0,99522	355	0,98376
56	0,98989	116	1,00626	176	1,01647	236	1,01103	296	0,99494	356	0,98370
57	0,99012	117	1,00653	177	1,01652	237	1,01081	297	0,99467	357	0,98363
58	0,99036	118	1,00679	178	1,01656	238	1,01060	298	0,99440	358	0,98358
59	0,99060	119	1,00705	179	1,01659	239	1,01037	299	0,99412	359	0,98353
60	0,99084	120	1,00731	180	1,01662	240	1,01015	300	0,99385	360	0,98348
										361	0,98344
										362	0,98340
										363	0,98337
										364	0,98335
										365	0,98333
										366	0,98331

Apéndice 2

Tabla 7a: Datos de cobertura vegetal, suelo y broza, del tratamiento del muestreo 1.

Muestreo 1-Tratamiento-Fecha de realización: 14/12/2011										
Polígono	1			2			3			
Transecta (50 m)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
	Cobertura (%)									
Cobertura de Vegetación (%)	45	45	40	40	40	40	40	45	40	Promedio de los tres polígonos
Suelo desnudo (%)	35	35	40	40	40	40	40	35	40	
Cobertura de Broza (%)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Promedio por polígono de Vegetación (%)	43,33			40,00			41,67			41,67%
Promedio por polígono de Suelo (%)	36,67			40,00			38,33			38,33%
Promedio por polígono de Broza (%)	20,00			20,00			20,00			20,00%

Tabla 7b: Datos de cobertura vegetal, suelo y broza, del control del muestreo 1.

Muestreo 1-Control-Fecha de realización: 14/12/2011										
Polígono	1			2			3			
Transecta (50 m)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
	Cobertura (%)									
Cobertura de Vegetación (%)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	Promedio de los tres polígonos
Suelo desnudo (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
Cobertura de Broza (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Promedio por polígono de Vegetación (%)	40,00			40,00			40,00			40,00%
Promedio por polígono de Suelo (%)	50,00			50,00			50,00			50,00%
Promedio por polígono de Broza (%)	10,00			10,00			10,00			10,00%

Tabla 8a: Datos de cobertura vegetal, suelo y broza, del tratamiento del muestreo 2.

Muestreo 2-Tratamiento-Fecha de realización: 22/12/2012										
Polígono	1			2			3			
Transecta (50 m)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
	Cobertura (%)									
Cobertura de Vegetación (%)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	Promedio de los tres polígonos
Suelo desnudo (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Cobertura de Broza (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Promedio por polígono de Vegetación (%)	80,00			80,00			80,00			80,00%
Promedio por polígono de Suelo (%)	10,00			10,00			10,00			10,00%
Promedio por polígono de Broza (%)	10,00			10,00			10,00			10,00%

Tabla 8b: Datos de cobertura vegetal, suelo y broza, del control del muestreo 2.

Muestreo 2-Control-Fecha de realización: 22/12/2012										
Polígono	1			2			3			
Transecta (50 m)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
	Cobertura (%)									
Cobertura de Vegetación (%)	60	70	70	60	60	55	50	70	70	Promedio de los tres polígonos
Suelo desnudo (%)	10	10	10	20	20	25	30	20	10	
Cobertura de Broza (%)	30	20	20	20	20	20	20	10	20	
Promedio por polígono de Vegetación (%)	66,67			58,33			63,33			62,78%
Promedio por polígono de Suelo (%)	10,00			21,67			20,00			17,22%
Promedio por polígono de Broza (%)	23,33			20,00			16,67			20,00%

Tabla 9a: Datos de cobertura vegetal, suelo y broza, del tratamiento del muestreo 3.

Muestreo 3-Tratamiento-Fecha de realización: 13/12/2011										
Polígono	1			2			3			
Transecta (50 m)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
	Cobertura (%)									
Cobertura de Vegetación (%)	40	40	40	40	40	40	35	35	35	Promedio de los tres polígonos
Suelo desnudo (%)	40	40	40	35	35	35	40	40	40	
Cobertura de Broza (%)	20	20	20	25	25	25	25	25	25	
Promedio por polígono de Vegetación (%)	40,00			40,00			35,00			38,33%
Promedio por polígono de Suelo (%)	40,00			35,00			40,00			38,34%
Promedio por polígono de Broza (%)	20,00			25,00			25,00			23,33%

Tabla 9b: Datos de cobertura vegetal, suelo y broza, del control del muestreo 3.

Muestreo 3-Control-Fecha de realización: 13/12/2011										
Polígono	1			2			3			
Transecta (50 m)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
	Cobertura (%)									
Cobertura de Vegetación (%)	40	40	40	30	40	40	40	40	40	Promedio de los tres polígonos
Suelo desnudo (%)	40	50	40	50	40	40	40	35	30	
Cobertura de Broza (%)	20	10	20	20	20	20	20	25	30	
Promedio por polígono de Vegetación (%)	40,00			36,67			40,00			38,89%
Promedio por polígono de Suelo (%)	43,33			43,33			35,00			40,55%
Promedio por polígono de Broza (%)	16,67			20,00			25,00			20,56%

Tabla 10a: Datos de cobertura vegetal, suelo y broza, del tratamiento del muestreo 4.

Muestreo 4-Tratamiento-Fecha de realización: 20/12/2011										
Polígono	1			2			3			
Transecta (50 m)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
	Cobertura (%)									
Cobertura de Vegetación (%)	60	60	55	55	55	60	55	60	55	Promedio de los tres polígonos
Suelo desnudo (%)	20	10	15	15	15	10	15	15	15	
Cobertura de Broza (%)	20	30	30	30	30	30	25	30	30	
Promedio por polígono de Vegetación (%)	58,33			56,67			56,67			57,23%
Promedio por polígono de Suelo (%)	15,00			13,33			15,00			14,44%
Promedio por polígono de Broza (%)	26,67			30,00			28,33			28,33%

Tabla 10b: Datos de cobertura vegetal, suelo y broza, del control del muestreo 4.

Muestreo 4-Control-Fecha de realización: 20/12/2011										
Polígono	1			2			3			
Transecta (50 m)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
	Cobertura (%)									
Cobertura de Vegetación (%)	60	50	50	60	55	65	60	60	70	Promedio de los tres polígonos
Suelo desnudo (%)	20	30	30	15	20	15	15	15	10	
Cobertura de Broza (%)	20	20	20	25	25	20	25	25	20	
Promedio por polígono de Vegetación (%)	53,33			60,00			63,33			58,89%
Promedio por polígono de Suelo (%)	26,67			16,67			13,33			18,89%
Promedio por polígono de Broza (%)	20,00			23,33			23,33			22,22%

Tabla 11a: Datos de cobertura vegetal, suelo y broza, del tratamiento del muestreo 5.

Muestreo 5-Tratamiento-Fecha de realización: 16/12/2011																			
Polígono	1						2						3						
Transecta (50 m)	1		2		3		1		2		3		1		2		3		
Subtransectas (25 m)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
	Cobertura (%)																		
Cobertura de Vegetación (%)	70	60	60	40	40	40	40	40	45	50	50	50	40	40	40	40	40	40	
Suelo desnudo (%)	25	30	25	20	20	20	20	20	20	20	20	20	30	20	20	20	20	20	
Cobertura de Broza (%)	15	10	15	40	40	40	40	40	35	30	30	30	30	40	40	40	40	40	
Promedio por polígono de Vegetación (%)	51,67						45,83						40,00						45,50%
Promedio por polígono de Suelo (%)	23,33						20,00						21,67						21,45%
Promedio por polígono de Broza (%)	26,67						34,17						38,33						33,05%

Tabla 11b: Datos de cobertura vegetal, suelo y broza, del control del muestreo 5.

Muestreo 5-Control-Fecha de realización: 16/12/2011																			
Polígono	1						2						3						
Transecta (50 m)	1		2		3		1		2		3		1		2		3		
Subtransectas (25 m)	1	2																	
Cobertura (%)																			
Cobertura de Vegetación (%)	48	60	60	48	60	70	70	45	45	60	50	40	45	40	50	60	45	50	Promedio de los tres polígonos
Suelo desnudo (%)	50	38	38	50	35	28	25	50	50	20	40	50	50	50	45	35	50	45	
Cobertura de Broza (%)	2	2	2	2	5	2	5	5	5	20	10	10	5	10	5	5	5	5	
Promedio por polígono de Vegetación (%)	57,67						51,67						48,33						
Promedio por polígono de Suelo (%)	39,83						39,17						45,83						41,61%
Promedio por polígono de Broza (%)	2,50						9,17						5,83						5,83%

Tabla 12a: Datos de cobertura vegetal, suelo y broza, del tratamiento del muestreo 6.

Muestreo 6-Tratamiento-Fecha de realización: 07/03/2011										
Polígono	1			2			3			
Transecta (50 m)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Cobertura (%)										
Cobertura de Vegetación (%)	75	75	60	60	60	70	70	65	65	Promedio de los tres polígonos
Suelo desnudo (%)	15	15	30	30	30	25	20	20	25	
Cobertura de Broza (%)	10	10	10	10	10	5	10	10	5	
Promedio por polígono de Vegetación (%)	70,00			63,33			66,67			
Promedio por polígono de Suelo (%)	20,00			28,33			21,67			23,40%
Promedio por polígono de Broza (%)	10,00			8,33			8,33			9,00%

Tabla 12b: Datos de cobertura vegetal, suelo y broza, del control del muestreo 6.

Muestreo 6-Control-Fecha de realización: 07/03/2011										
Polígono	1			2			3			
Transecta (50 m)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Cobertura (%)										
Cobertura de Vegetación (%)	75	65	70	80	80	75	80	70	70	Promedio de los tres polígonos
Suelo desnudo (%)	15	30	20	10	10	5	10	20	10	
Cobertura de Broza (%)	10	5	10	10	10	20	10	5	15	
Promedio por polígono de Vegetación (%)	70,00			78,33			73,33			
Promedio por polígono de Suelo (%)	21,67			8,33			13,33			14,44%
Promedio por polígono de Broza (%)	8,33			13,33			10,00			11,56%

Apéndice 3

Tabla 13: Resultados del cálculo del NDVI para el tratamiento y el control del muestreo 1.

	Muestreo 1: fuego ocurrido entre 26-09-2000 y 12-10-2000				
	Fecha de imagen	NDVI por imagen		NDVI promedio de 2 fechas	
		Tratamiento	Control	Tratamiento	Control
Previo al fuego	25/08/00	0,232	0,220	0,223	0,214
	26/09/00	0,213	0,208		
Posterior al fuego	12/10/00	0,196	0,243	0,196	0,243
Verano 2000-2001	12/10/00	0,196	0,243	0,225	0,266
	16/01/01	0,254	0,289		
Verano 2001-2002	25/11/01	0,368	0,372	0,367	0,391
	28/01/02	0,366	0,410		
Verano 2002-2003	15/06/03	0,272	0,276	0,245	0,255
	19/09/03	0,219	0,233		
Verano 2003-2004	28/09/03	0,217	0,227	0,260	0,285
	03/02/04	0,302	0,343		
Verano 2004-2005	17/11/04	0,302	0,321	0,302	0,336
	20/01/05	0,302	0,351		
Verano 2005-2006	10/10/05	0,269	0,264	0,254	0,254
	30/01/06	0,239	0,244		
Verano 2006-2007	27/09/06	0,207	0,210	0,265	0,273
	02/02/07	0,324	0,335		
Verano 2007-2008	30/09/07	0,193	0,188	0,262	0,268
	05/02/08	0,331	0,348		
Verano 2008-2009	25/09/08	0,218	0,222	0,233	0,236
	22/01/09	0,248	0,250		
Verano 2009-2010	28/09/09	0,232	0,237	0,269	0,282
	25/01/10	0,306	0,328		
Verano 2010-2011	17/10/10	0,255	0,259	0,265	0,280
	12/01/11	0,274	0,300		
Verano 2011-2012	20/10/11	0,228	0,225	0,264	0,262
	12/11/11	0,300	0,299		

Tabla 14: Resultados del cálculo del NDVI para el tratamiento y el control del muestreo 2.

Muestreo 2: fuego ocurrido entre 05-02-2005 y 09-03-2005					
	Fecha de imagen	NDVI por imagen		NDVI promedio de 2 fechas	
		Tratamiento	Control	Tratamiento	Control
Previo al fuego	26/12/04	0,429	0,439	0,413	0,410
	05/02/05	0,398	0,382		
Posterior al fuego	09/03/05	0,236	0,418	0,236	0,418
Verano 2005-2006	10/10/05	0,274	0,360	0,294	0,355
	30/01/06	0,313	0,350		
Verano 2006-2007	27/09/06	0,239	0,270	0,279	0,315
	02/02/07	0,319	0,359		
Verano 2007-2008	30/09/07	0,236	0,283	0,343	0,378
	05/02/08	0,450	0,474		
Verano 2008-2009	25/09/08	0,226	0,254	0,322	0,335
	22/01/09	0,418	0,416		
Verano 2009-2010	28/09/09	0,275	0,321	0,315	0,355
	25/01/10	0,354	0,390		
Verano 2010-2011	17/10/10	0,305	0,346	0,327	0,337
	12/01/11	0,349	0,329		
Verano 2011-2012	20/10/11	0,264	0,297	0,320	0,361
	12/11/11	0,377	0,425		

Tabla 15: Resultados del cálculo del NDVI para el tratamiento y el control del muestreo 3.

Muestreo 3: fuego ocurrido entre 11-11-2005 y 30-01-2006					
	Fecha de imagen	NDVI por imagen		NDVI promedio de 2 fechas	
		Tratamiento	Control	Tratamiento	Control
Previo al fuego	10/10/05	0,292	0,277	0,310	0,297
	04/11/05	0,328	0,317		
Posterior al fuego	30/01/06	0,156	0,279	0,156	0,279
Verano 2006-2007	27/09/06	0,202	0,215	0,264	0,255
	02/02/07	0,327	0,295		
Verano 2007-2008	30/09/07	0,215	0,201	0,284	0,280
	05/02/08	0,353	0,359		
Verano 2008-2009	25/09/08	0,227	0,222	0,232	0,235
	22/01/09	0,237	0,249		
Verano 2009-2010	28/09/09	0,242	0,246	0,265	0,269
	25/01/10	0,288	0,291		
Verano 2010-2011	17/10/10	0,259	0,260	0,260	0,284
	12/01/11	0,261	0,307		
Verano 2011-2012	20/10/11	0,238	0,220	0,259	0,240
	27/10/11	0,281	0,261		

Tabla 16: Resultados del cálculo del NDVI para el tratamiento y el control del muestreo 4.

Muestreo 4: fuego ocurrido entre 06-01-2009 y 16-02-2009					
	Fecha de imagen	NDVI por imagen		NDVI promedio de 2 fechas	
		Tratamiento	Control	Tratamiento	Control
Previo al fuego	21/12/08	0,306	0,296	0,345	0,338
	06/01/09	0,383	0,380		
Posterior al fuego	16/02/09	0,201	0,349	0,201	0,349
Verano 2009-2010	28/09/09	0,274	0,292	0,304	0,316
	25/01/10	0,334	0,340		
Verano 2010-2011	17/10/10	0,291	0,342	0,292	0,327
	12/01/11	0,293	0,312		
Verano 2011-2012	20/10/11	0,252	0,298	0,296	0,341
	12/11/11	0,341	0,384		

Tabla 17: Resultados del cálculo del NDVI para el tratamiento y el control del muestreo 5.

Muestreo 5: fuego ocurrido entre 11-11-2005 y 30-01-2006					
	Fecha de imagen	NDVI por imagen		NDVI promedio de 2 fechas	
		Tratamiento	Control	Tratamiento	Control
Previo al fuego	10/10/05	0,350	0,417	0,337	0,382
	11/11/05	0,325	0,347		
Posterior al fuego	30/01/06	0,292	0,152	0,292	0,152
Verano 2006-2007	27/09/06	0,263	0,183	0,348	0,315
	02/02/07	0,433	0,446		
Verano 2007-2008	30/09/07	0,307	0,281	0,366	0,362
	05/02/08	0,426	0,443		
Verano 2008-2009	25/09/08	0,303	0,274	0,304	0,260
	22/01/09	0,304	0,246		
Verano 2009-2010	28/09/09	0,338	0,404	0,352	0,368
	25/01/10	0,366	0,331		
Verano 2010-2011	17/10/10	0,358	0,431	0,332	0,399
	12/01/11	0,307	0,367		
Verano 2011-2012	20/10/11	0,331	0,376	0,383	0,385
	12/11/11	0,434	0,393		

Tabla 18: Resultados del cálculo del NDVI para el tratamiento y el control del muestreo 6.

Muestreo 6: fuego ocurrido entre 19-11-2008 y 21-12-2008					
	Fecha de imagen	NDVI por imagen		NDVI promedio de 2 fechas	
		Tratamiento	Control	Tratamiento	Control
Previo al fuego	03/11/08	0,330	0,331	0,307	0,307
	19/11/08	0,284	0,283		
Posterior al fuego	21/12/08	0,162	0,295	0,162	0,295
Verano 2009-2010	19/09/09	0,233	0,256	0,240	0,277
	25/01/10	0,247	0,299		
Verano 2010-2011	08/10/10	0,234	0,239	0,258	0,271
	12/01/11	0,282	0,302		
Verano 2011-2012	27/10/11	0,285	0,291	0,304	0,306
	12/11/11	0,323	0,322		

Apéndice 4

Tablas 19 y 20: Resultados del cálculo de regresión lineal (R^2) entre los valores de NDVI del sitio quemado y los valores de NDVI de los sitios control. En la intersección de Est. y NQ de la segunda tabla se observa el valor de la pendiente de la recta de regresión.

Análisis de regresión lineal						
Variable	N	R^2	R^2 Aj	ECMP	AIC	BIC
Q	18	0,81	0,8	3,90E-04	-90,63	-87,96

Coeficientes de regresión y estadísticos asociados								
Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	0,04	0,03	-0,02	0,11	1,5	0,1536		
NQ	0,79	0,09	0,59	0,98	8,39	<0,0001	67,24	1