



Plan Nacional de Manejo del Fuego
Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable

ISSN 2313-9420



Secretaría
de Ambiente
y Desarrollo
Sustentable



Jefatura de
GABINETE de Ministros

Evaluación de peligro de incendios.
Informes técnicos

Zonificación Preliminar de Modelos de Combustibles en la Provincia de Mendoza

Guillermo Ferraris
Gabriel Zacconi

Foto: Google Earth



Programa Nacional de Evaluación
de Peligro de Incendios y Alerta Temprana

INFORME
TÉCNICO Nº **4**



Secretaría
de Ambiente
y Desarrollo
Sustentable



Jefatura *de*
GABINETE *de* Ministros

Evaluación de peligro de incendios. Informes técnicos

Informe Técnico N° 4

Zonificación Preliminar de Modelos de Combustibles en la Provincia de Mendoza

Autores: Ferraris, Guillermo; Zacconi Gabriel

Editores: Plan Nacional de Manejo del Fuego. Programa Nacional de Evaluación de Peligro de Incendios y Alerta Temprana.

Ruta 259 Km 4 - Esquel, Chubut, Argentina.

Publicación seriada de periodicidad irregular. ISSN 2313-9420 - Octubre de 2012

**Evaluación de peligro de incendios
Informes técnicos**

Informe Técnico N° 4
**Zonificación Preliminar de Modelos de
Combustibles en la Provincia de Mendoza**

Ferraris, Guillermo¹; Zacconi Gabriel²

¹ Plan Provincial de Manejo del Fuego (PPMF), Pcia. de Mendoza.

² Coordinación Técnica, Plan Nacional de Manejo del Fuego (PNMF),
Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS).

Esquel, Chubut, Argentina

ISSN 2313-9420

Octubre de 2012

Programa Nacional de Evaluación
de Peligro de Incendios
y Alerta Temprana

Plan Nacional de Manejo del Fuego
Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable

Contenido

Introducción..... 6

Objetivos..... 7

Metodología 8

Métodos..... 10

Resultados..... 10

Conclusiones..... 19

Bibliografía..... 19

Introducción

La ubicación geográfica de la provincia de Mendoza y los contrastes topográficos que la modelan, como las altas montañas al oeste y las extensas llanuras al este, determinan la existencia de una gran variedad de ambientes a los que se asocian distintas comunidades de especies vegetales. Por el noreste se insertan elementos chaqueños, en el sector norte a lo largo de la precordillera de Uspallata, se produce el ingreso de especies vegetales de la provincia altoandina, la provincia del monte ocupa gran parte del centro y este, y en el sur la Patagonia alcanza su límite septentrional (*Cabrera, 1976*).

La ocurrencia de incendios de vegetación es muy frecuente, especialmente en el sector suroriental de la provincia afectando en el período 2000-2001, 550 mil ha. y 300 mil ha. en los departamentos de Gral. Alvear y San Rafael respectivamente (Fuente: <http://www.conae.gov.ar/emergencia/Mendoza%202.htm>). Estos incendios generan grandes pérdidas económicas y daños ambientales, ya que en muchos casos son de origen antrópico.

Las distintas especies existentes, como así también su estructura y disposición, entre otros aspectos, dan lugar a comportamientos de fuego con características particulares en cada caso.

Durante el transcurso de un fuego, el combustible que se consume, es el que genera la energía y determina en gran medida la intensidad del fuego (*Muñoz, 2002*). Por esto, distintos métodos han sido desarrollados para su descripción a los efectos de estudiar su influencia en el desarrollo de un fuego. Para caracterizar a los combustibles se utilizan aquellos parámetros que resultan relevantes para el comportamiento del fuego, por ejemplo, su ubicación, forma y tamaño, carga, entre otros.

Aquellas asociaciones vegetales que, en igual topografía y ante similares condiciones meteorológicas, respondan de manera similar ante el comportamiento del fuego, se conocen como “modelos de combustibles”. Los modelos de combustibles son utilizados por los modelos numéricos, físico-matemáticos o empíricos, de predicción del comportamiento del fuego (*Dentoni y Muñoz, 2001*).

El Plan Nacional de Manejo del Fuego (PNMF), de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS), inició en el año 2000, la implementación de un Sistema Nacional de Evaluación de Peligro de Incendios (SNEPI), basado en el Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS), sistema desarrollado en Canadá para tal efecto.

El CFFDRS se compone de varios subsistemas, siendo los principales el subsistema meteorológico Fire Weather Index (FWI), y el subsistema de predicción de comportamiento del fuego Fire Behavior Prediction (FBP). El FBP es un modelo empírico de comportamiento del fuego, desarrollado para los principales modelos de combustibles presentes en Canadá, y que incorpora la mayor parte de la información meteorológica a través del FWI.

En una primera etapa, se efectuaron los ajustes e implementación del FWI en diversas provincias argentinas, previendo en una segunda etapa, iniciar el desarrollo del FBP para los combustibles de nuestro país (*Epele, com. pers.*).

Para esto, es necesario contar con los modelos de combustibles representativos de las asociaciones vegetales propia de cada región.

La caracterización de las asociaciones vegetales pueden obtenerse mediante técnicas de teledetección, cuyo concepto se basa en el proceso que permite adquirir información de un objeto, área o fenómeno, sin estar en contacto con él (*Eastman, 2001*), siendo una herramienta rápida y segura para el mapeo de combustibles.

Dentro de la teledetección, la clasificación automática de imágenes satelitales consiste en asignar píxeles o conjuntos de píxeles a distintas clases temáticas de la superficie terrestre. Existen diversos métodos de clasificación, la elección de cada uno de ellos dependerá de los datos y medios disponibles y de los fines que se deseen alcanzar (*Marx y Hildebrandt, 1978*).

La provincia de Mendoza incorporó a su sistema de manejo del fuego el FWI, en una segunda etapa a partir del año 2009 se comenzó a abordar los modelos de combustibles que servirán para predecir el comportamiento de un incendio. En este trabajo se identifican las asociaciones de vegetación en las que el fuego presenta un comportamiento similar ante similares condiciones ambientales y se determina su distribución geográfica.

Objetivos

Objetivo General

Generar un mapa de asociaciones de vegetación identificados a priori como modelos de combustible.

Objetivos Específicos

- » Identificar modelos de combustibles en las áreas de estudio.
- » Añadir y reunir información auxiliar mediante navegadores GPS para la clasificación de las imágenes satelitales.
- » Clasificar las imágenes satelitales mediante árboles de decisiones.

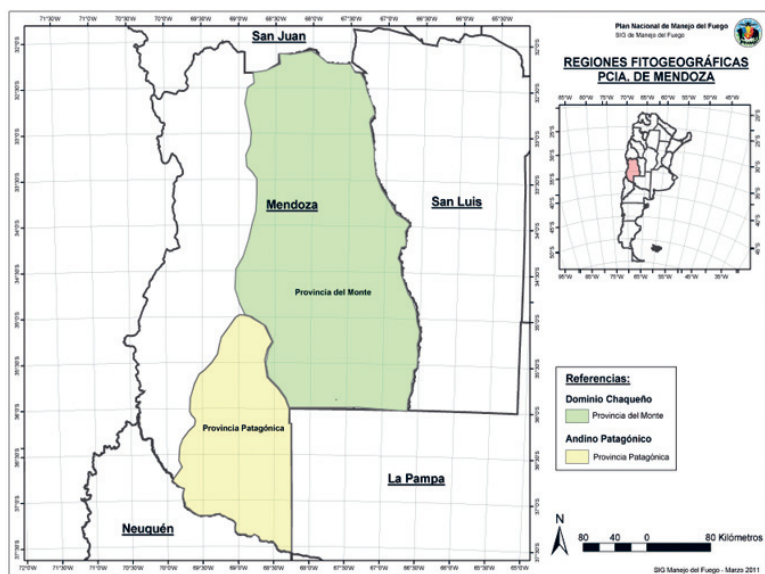


Figura 1:
provincia
del Monte y
Patagónica.
Elaboración
propia.

Metodología

Área de Estudio

La provincia de Mendoza se encuentra ubicada en la zona centro y oeste de Argentina, limita en el norte con la provincia de San Juan, al este con San Luis, en el sur con Neuquén y La Pampa y al oeste con la República de Chile. El área de estudio de este trabajo comprende la Provincia del Monte y Pata-

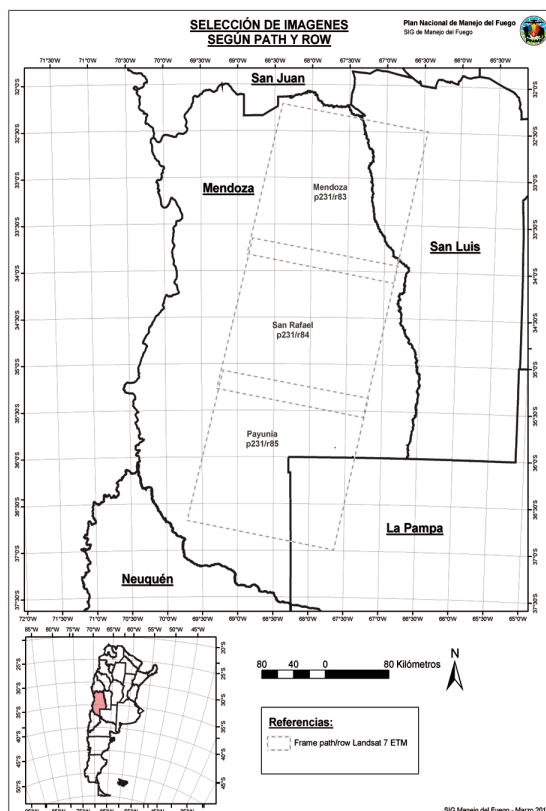
gónica (figura 1), Distrito de La Payunia (*Cabrera, 1976*), las cuales comprende el sector centro, y centro de precordillera hacia el sur de Mendoza respectivamente. La vegetación dominante de la Provincia del Monte es el matorral o la estepa arbustiva xerófila, sammófila o halófila y bosques de Algarrobos (*Prosopis* spp.), el género que caracteriza a la Provincia del Monte es jarilla (*Larrea* spp.) y algarrobo. Por otra parte, la vegetación en la provincia Patagónica es la estepa arbustiva con hojas reducidas o espinosas acompañadas de gramíneas y dicotiledones herbáceas (*Cabrera, 1976*).

Materiales

Se seleccionaron tres imágenes satelitales Landsat 7 (ETM+) Enhanced Thematic Mapper Plus ortorrectificadas de la Universidad de Maryland según path y row (figura 2) del servidor Global Land Cover Facility (GLCF).

Se utilizaron además, Modelos Digitales de Elevación (MDE) del “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM), el cual se adquirió de la página de Internet “Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) of the Consultative Group for International Agricultural Research (CGIAR)”.

Figura 2: ubicación de imágenes Landsat ETM seleccionadas por path y row. Elaboración Propia.



La clasificación automática se realizó mediante el software Envi 4.5, los datos relevados a campo se procesaron y analizaron en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Las zonas de entrenamiento y puntos de control se recopilaron mediante Global Positioning System (GPS) Garmin Map 60 CSx.

Métodos

Como primer paso se realizó una recopilación bibliográfica de publicaciones científicas y mapas, sobre distribución de la vegetación mendocina, como así también de distintas metodologías de clasificación automática de imágenes satelitales. Por otro lado, se definieron las clases de combustible mediante la extensa experiencia que poseen los sectores operativos del PPMF de Mendoza. Se analizaron los distintos comportamientos que podría desarrollar un fuego considerando parámetros como la longitud de llama, velocidad de propagación y dificultad de control, entre otros. De la misma manera, se contemplaron características de vegetación como continuidad vertical y horizontal, densidad de cobertura, altura, como las más importantes.

Se utilizó información precisa de campo realizando una descripción visual de la vegetación del sector relevado, toma de fotografías en terreno y aéreas mediante medios proporcionados por la Regional V Pampeana del PNMF. Se utilizó navegador GPS para determinar las zonas de entrenamiento y los puntos de control utilizados en el proceso post-clasificación.

Se realizó un pre-procesamiento de imágenes Landsat y MDE, unión de bandas espectrales, reproyección desde el sistema de Latitud/Longitud a la Proyección Transversal Mercator de POSGAR 94 (Sistema de proyección Gauss Krueger, faja 2 con meridiano central 69° W; Datum y Elipsoide: WGS 84).

Se determinaron las clases de combustibles a clasificar evaluando su separación mediante métodos gráficos de firmas espectrales y numéricos tal es el caso de divergencia transformada (ERDAS Inc., 1997).

Se empleó el método de clasificación “No Supervisado” como primera aproximación de la separación de clases espectrales, luego se aplicó el método de árbol de decisión (Chuvieco, 1996) para la clasificación de cada una de las imágenes.

Resultados

Clases de combustibles determinados.

Tomando en cuenta las áreas relevadas se determinaron las siguientes clases de combustible:

- » Bosque Cerrado.
- » Bosque Abierto con Arbustos.
- » Arbustal
- » Arbustal Denso.
- » Estepa Subarbustiva.
- » Pastizal.
- » Cortaderal.

Bosque Cerrado: compuesto por un estrato arbóreo predominante con especies de algarrobos (figura 3) (*Prosopis flexuosa* var. *flexuosa*) y chañar (*Geoffroea decorticans*) de hasta 7 m de altura con una cobertura que puede alcanzar el 80% (Villagra et al., 2004) y en ocasiones ejemplares de tamarisco (*Tamarix* spp.), también se encuentra un estrato arbustivo en escasa densidad dominado por comunidades de jarillas (*L. divaricata* y *L. cuneifolia*), alcanzan 2,5 - 3 m de altura; el estrato inferior se encuentra colonizado por gramíneas de hasta 0,60 m de altura.

Figura 3: fotografía bosque cerrado de algarrobos. Reserva Provincial Nacuñán.



Bosque Abierto con Arbustos: conformado por un estrato arbóreo de algarrobos y chañares en menor cobertura que la clase anterior no superando el 40% (figura 4). El estrato arbustivo es quien predomina, se encuentra jarilla, piquillín (*Condalia microphylla*), zampa (*Atriplex lampa*), etc. y un estrato herbáceo principalmente conformado por gramíneas.

Arbustal: existe un estrato arbustivo predominante de 3 – 3,5 m de altura (figura 5), se encuentra una gran variedad de especies de jarillas y algarrobos, piquillín, retamo (*Bulnesia retama*), alpataco (*Prosopis alpataco*) y chañar entre los más comunes. Se encuentra además, un estrato herbáceo principalmente de coirón, tupe (*Panicum urvilleanum*), entre otros.



Figura 5: arbustal.
Cercano a Monte Comán.

Arbustal Denso: el estrato arbustivo es el predominante en esta clase, con comunidades de jarilla (*Larrea cuneifolia*) de 2,5 – 3 m de altura (figura 6), con alta cobertura más del 50% respecto a otras especies. Se localizan en barreales arcillosos de franjas anchas intercalados con el bosque abierto de algarrobos.



Figura 6: fotografía
aérea de arbustal denso.
Reserva de Ñacuñán.
Helicóptero Bell UH 1H
(Regional V Pampeana
- PNMF).

Estepa Subarbustiva: caracterizada por una vegetación que no supera en la mayoría de los casos el 1 m de altura (figura 7). Comunidades de solupe negro (*Neospartum aphyllum*), senecio (*Senecio* spp.), chirriadera (*Chuquiraga erinacea*), zampa, ejemplares del género *Adesmia*, entre los más comunes. En esta clase además, se encuentra una gran variedad de gramíneas como junquillo (*Sporobolus rigens*) y coirón.

Figura 7: fotografía de estepa subarbustiva. Reserva Provincial La Payunia.



Pastizal: en esta clase predominan las plantas herbáceas graminosas y dicotiledóneas (figura 8), se encuentran especies de flechilla (*Aristida mendocina*), pasto plateado (*Digitaria californica*), coirón, tupe (*Panicum urvilleanum*), paja amarga (*Eleonorus muticus*), entre otros. La cobertura del suelo es muy variable alcanzando valores máximos del 80% y la altura no supera los 0,60 m.

Figura 8: fotografía de pastizal. Payunia. Mina Ethel.



Cortaderal: la especie que representa esta clase es la cortadera (*Cortadera selloana*) (figura 9), se encuentra en sitios cercanos a cursos y espejos de agua, se asocia totorales y vegetación herbácea hidrófila como pasto salado (*Distichlis spicata*), pichana (*Psila spartioides*), también se encuentra en ocasiones un estrato arbóreo de tamarisco (*Tamarix* spp.).



Figura 9: cortaderal.
Reserva Provincial
Laguna Llanquanelo.

Separabilidad de clases espectrales.

Divergencia Transformada.

La separación de las clases, es una medida estadística de distancia entre dos firmas y puede calcularse para cualquier combinación de bandas que se usen en la clasificación (ERDAS Inc., 1997).

Un listado de la separación, es un reporte de las divergencias calculadas para cada par de clases y una combinación de bandas. El listado contiene cada valor de divergencia para las bandas estudiadas para todo par de clases. El rango de valores de divergencia varía de 0 a 2,00, si el resultado es mayor que 1,900, entonces pueden separarse las clases. Entre 1,700 y 1,900 la separación es moderadamente buena. Por debajo de 1,700, la separación es mala (Jensen, 2005).

La tabla de distancia de divergencia transformada expresa una excelente separación entre la mayoría de las clases destacándose las clases agua y sin vegetación. Mientras que la menor separación se produce entre las clases bosque abierto y arbustal (tabla 1).

Diagrama de Signaturas.

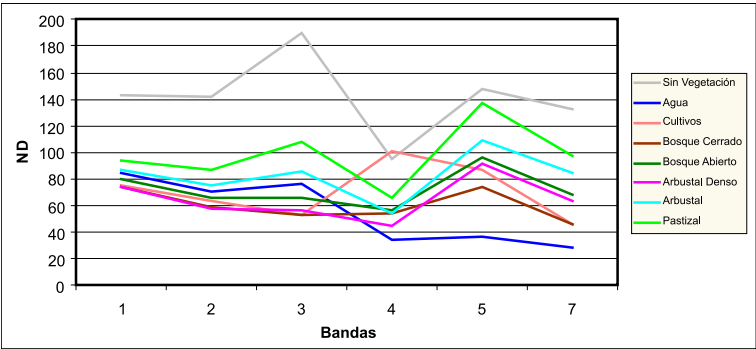
Son gráficos de dos dimensiones, donde figuran en el eje de abscisas las bandas que intervienen y en las ordenadas los Niveles Digitales (ND) medios de cada clase (figura 10). Estos gráficos, identifican aquellas bandas en las que manifiesta un comportamiento característico respecto de otras clases. Las líneas paralelas y próximas indican superposiciones de clases dificultando su separación (Chuvieco, 1996).

Cabe destacar que los ND correspondientes a una clase pueden no ser iguales entre imágenes para igual clase, por lo tanto los criterios de separación en los árboles de decisiones varían unos de otros.

Tabla 1: divergencia transformada para clases de combustibles.

Clase	SV	Agua	BC	BAA	A	AD	ES	P	C
Sin Vegetación	1								
Agua	2,00	1							
Bosque Cerrado	2,00	2,00	1						
Bosque Abierto	2,00	2,00	1,96	1					
Arbustal	2,00	2,00	1,99	1,88	1				
Arbustal Denso	2,00	2,00	1,98	1,98	1,96	1			
Estepa Subarbustiva	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,99	1		
Pastizal	2,00	2,00	2,00	2,00	1,99	2,00	2,00	1	
Cortaderal	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1

Figura 10: diagrama de firmas espectrales para algunas clases de combustibles en las bandas del sensor ETM.



Árboles de Decisiones

Se tomaron en cuenta para la separación de las clases de combustibles las bandas del sensor ETM+1, ETM+2, ETM+3, ETM+4, ETM+5 y ETM+7. En zonas montañosas debido a las sombras que generan las laderas, se utilizó un MDE SRTM ya que muchos píxeles que correspondían a vegetación en las laderas se incorporaban en la clase agua, de esta manera se solucionó esta discriminación. Siempre como primera instancia se discriminó fácilmente el agua con bajos valores de ND principalmente en las bandas ETM+4, ETM+5 y ETM+7, los suelos sin vegetación también fueron fácilmente discriminables en la banda ETM+3 y ETM+5 debido a altos ND con respecto a las demás clases.

La mayor dificultad se dio en la separación entre las clases bosque abierto y arbustal debido a los valores espectrales similares que manifiesta el estrato arbustivo en la mayoría de las bandas. Además, se separaron otras coberturas que no corresponden a clases de combustibles como son los espejos de agua y suelo sin vegetación, en el caso de la imagen de Payunia se discriminaron los escoriales volcánicos y en las imágenes de Mendoza y San Rafael igualmente, se discriminaron los cultivos.

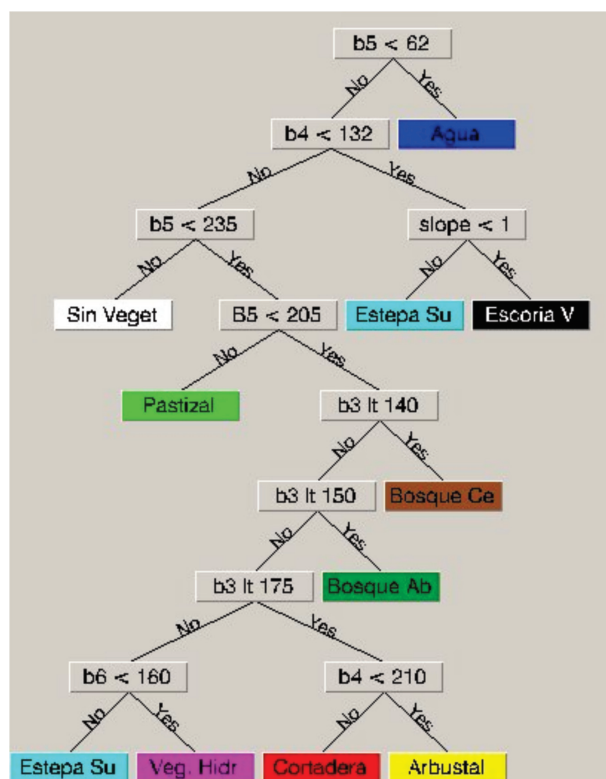


Figura 11: árbol de decisión para imagen Landsat ETM 231/85 del 17/03/2000.

Figura 12:
clasificación La
Payunia; ETM
p231r85 del
17/03/2000.

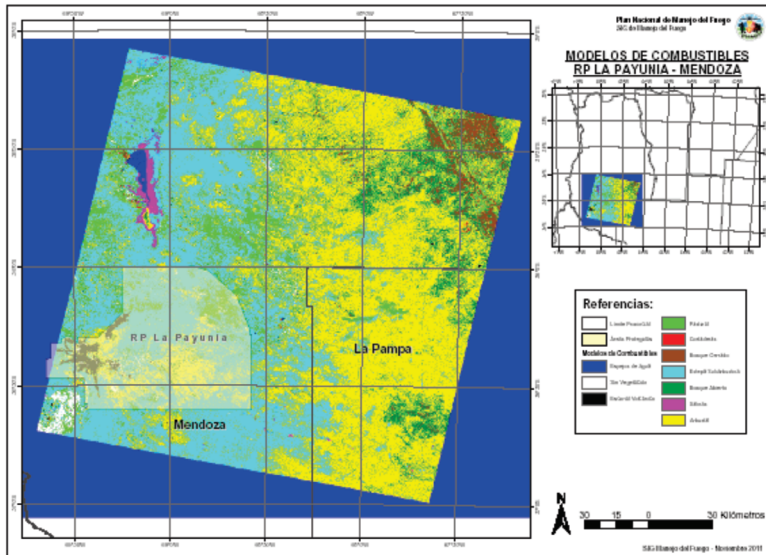
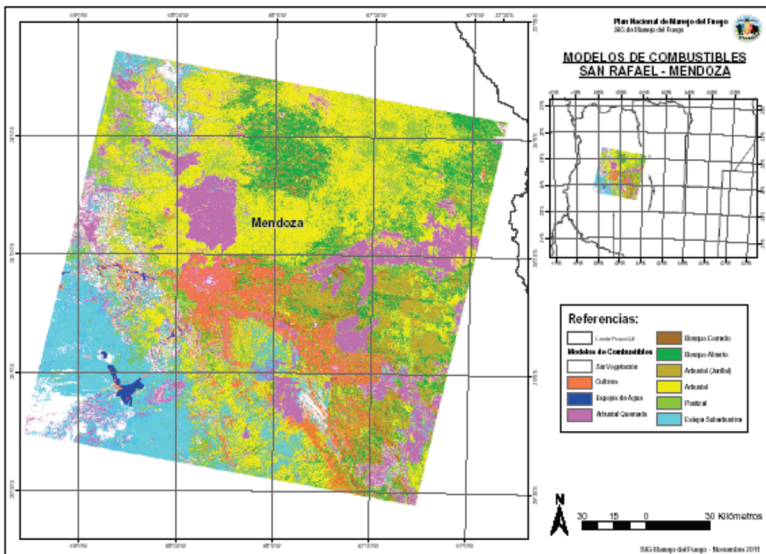


Figura 13:
clasificación
San Rafael;
ETM
p231r84 del
21/04/2001.



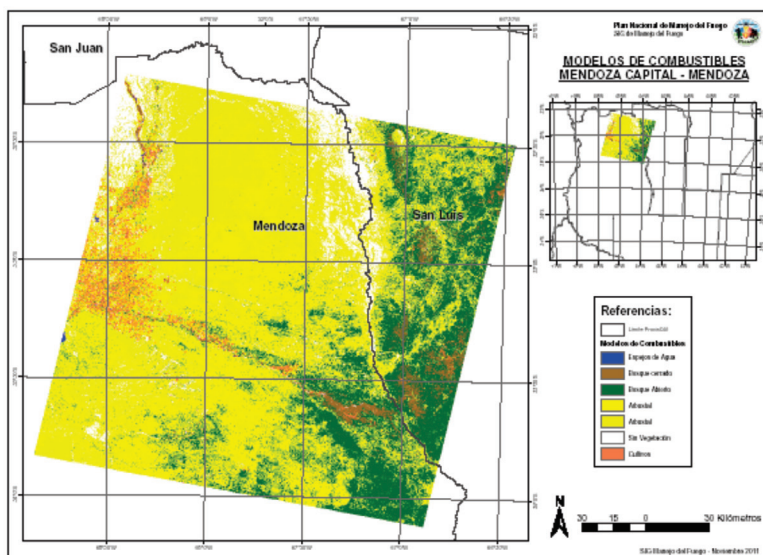


Figura 14:
clasificación
Mendoza; ETM
p231r843del
03/02/2002.

Matriz de Confusión

Generalmente los datos de confiabilidad se analizan por medio de una matriz de confusión, la cual permite examinar los sitios de verificación con las clases de mapa que se deseen evaluar. La diagonal de la matriz expresa el número de sitios de verificación en concordancia con las clases del mapa (Mas *et al.*, 2003). Se analizó una matriz de confusión en la imagen de “Payunia” path 231 row 85 de Landsat, la cual arrojó un valor de confiabilidad global de la clasificación de 77,77% (tabla 2).

Tabla 2: matriz de confusión para clasificación de imagen “Payunia”.

Clase	SV c.	EA c.	BC c.	BA c.	A c.	ES c.	P c.	C c.	EV c.	Total
Sin Vegetación (SV)	10									10
Espejos de Agua (EA)		10							1	11
Bosque Cerrado (BC)			8	1						9
Bosque Abierto (BA)			1	7	3			1		12
Arbustal (A)			1	2	6	2				11
Estepa Subar. (ES)					1	7	1	1	1	11
Pastizal (P)						1	8	2		11
Cortaderal C							1	6		7
Escorial Vol. (EV)									8	8
Total	10	10	10	10	10	10	10	10	10	90

Conclusiones

El desarrollo de este trabajo permitió experimentar nuevas herramientas de clasificación de combustibles, que resulta imprescindible para poder avanzar en la utilización de los modelos de predicción de comportamiento del fuego. Si bien la provincia de Mendoza cuenta con diferentes clasificaciones de vegetación, las mismas no han sido desarrolladas con las características de comportamiento de fuego. Además, sería necesario realizar quemas prescriptas con el fin de obtener variables de comportamiento del fuego y así validar los modelos de combustibles.

La clasificación automática de imágenes de satélite, permitió diferenciar clases de combustibles en grandes extensiones de manera rápida y eficaz; el uso de herramientas para determinar la separación entre clases como el diagrama de firmas y divergencia transformada fueron de suma importancia en la clasificación por árboles de decisiones.

Cabe destacar que es la primera experiencia de implementación de esta técnica para la elaboración de un mapa de combustibles mediante esta metodología, el cual permanecerá sujeto a correcciones futuras con el fin de aprobarlos para su uso definitivamente.

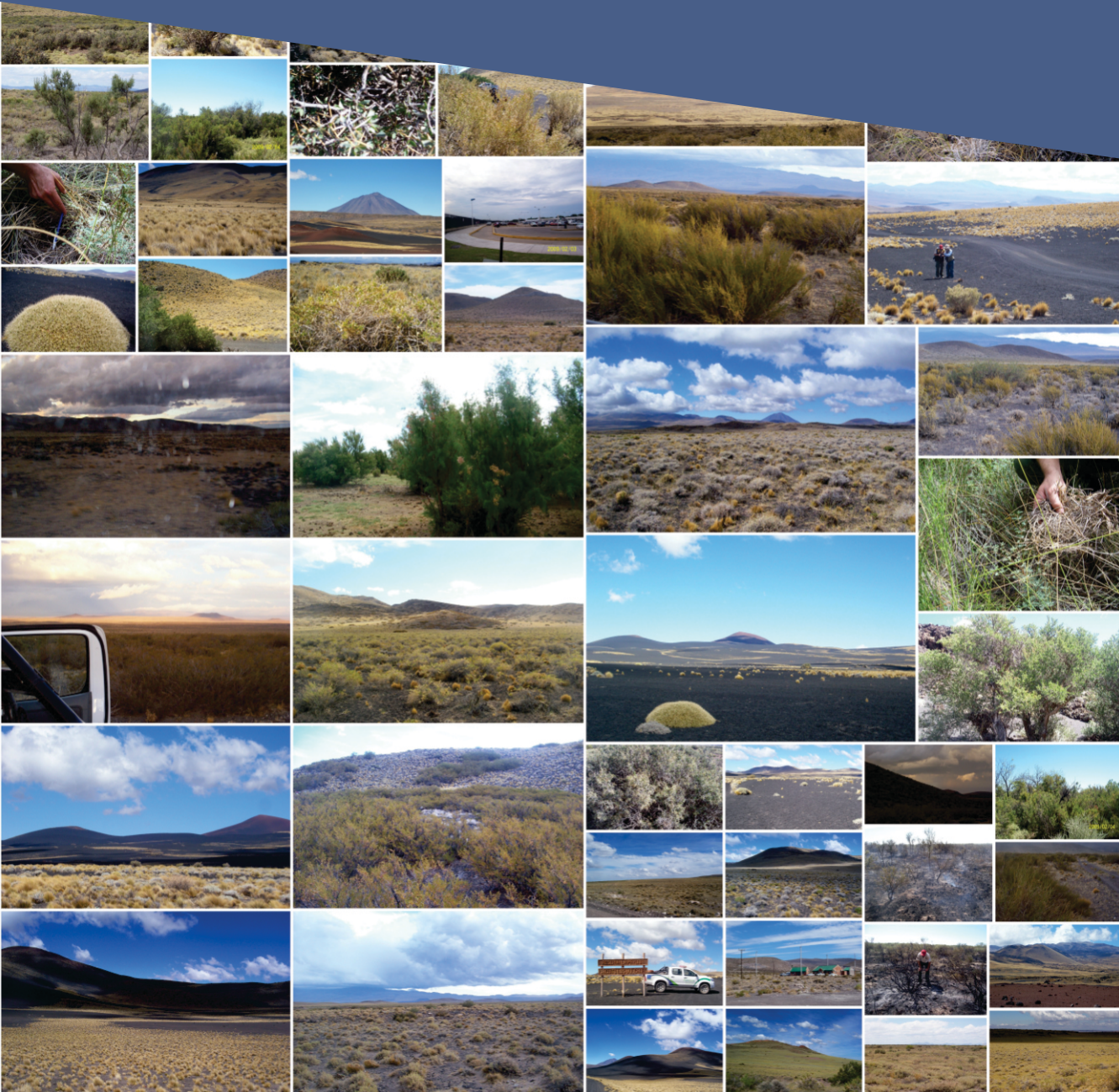
Bibliografía

- Cabrera A. L., (1976). Regiones fitogeográficas argentinas. En: Kugler, W. F. (ed.): Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. 2º ed. Tomo II. Fasc. I. Acme, Bs. As.
- Chuvieco E., (1996). Fundamentos de Teledetección Espacial. 3ª edición revisada. 2000 Ed. Rialp, Madrid, España. 568 pp.
- Countryman C., (1966). Rating FIRE danger by multiple basic index system. *Journal of Forestry* 64: 531–536.
- Dentoni M. C. y Muñoz M., (2001). Glosario corregido de términos relacionados con el manejo del fuego. PNMF – SAyDS. 30pp.
- Eastman J., (2001). Guide to GIS and Image Processing, vol 1. Idrisi 32 Rel. 2. Manual v. 32.20, Clark Labs, Clark University, Worcester, MA, USA. 410 pp.
- ERDAS Inc., (1997). Capítulo 6: Clasificación. 44 pp.
- Jensen J. R., (1996). Introductory digital image processing: a remote sensing perspective, 2nd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River N. J.
- Marx C. y Hildebrandt G., (1978). Qualitative and quantitative interpretation of Landsat MSS data to forest cover mapping in Germany, en *Proceedings of The International Symposium on Remote Sensing for Observation and Inventory of Earth Resources and the Endangered Environment*, Freiburg.

- Mas J. F., Díaz Gallegos J. R. y Pérez Vega A., (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM 51:53-72.
- Muñoz M. M., (2002). Metodologías para el análisis de grandes incendios. Seminario II. 54 pp.
- Villagra P., Cony M., Mantován N., Rossi B., González Loyarte M., Villalba R., y Marone L., (2004). Ecología y Manejo de los algarrobales de la Provincia Fitogeográfica del Monte. En: Ecología y Manejo de Bosques Nativos de Argentina. (Eds M. F. Arturi, J. L. Frangi and J. F. Goya). Editorial Universidad Nacional de La Plata. 36 pp.

Agradecimientos

- A Marcelo Mosiejchuk, coordinador regional, Región V Pampeana, Santa Rosa (LP), Plan Nacional de Manejo del Fuego, por facilitarnos los medios aéreos de la Regional V Pampeana del PNMF.
- Al Ing. Agr. (MSc) Sebastian Mora, del la EEA Rama Caída, INTA, San Rafael (Mza), por el aporte de información botánica, principalmente de especies herbáceas y arbustivas q habitan en las áreas visitadas.



Secretaría
de Ambiente
y Desarrollo
Sustentable



Jefatura de
GABINETE de Ministros

Evaluación de peligro de incendios. Informes técnicos **Informe Técnico N° 4 . Zonificación Preliminar de Modelos de** **Combustibles en la Provincia de Mendoza**

Autores: Guillermo Ferraris, Gabriel Zacconi

Editor: Plan Nacional de Manejo del Fuego. Programa Nacional de Evaluación
de Peligro de Incendios y Alerta Temprana.

Ruta 259 Km 4 - Esquel, Chubut, Argentina.

Publicación seriada de periodicidad irregular. ISSN 2313-9420 - Julio de 2012