

UTILIZACIÓN DE IMÁGENES MMRS/SAC-C Y CLASIFICACIÓN ORIENTADA A OBJETOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MODELOS COMBUSTIBLES

Sione, W. F.¹; Serafini, M. C.¹; Angelini, M. E.¹;
Aceñolaza, P.² y Collado A. D.³

1 - Universidad Nacional de Luján
Depto. de Ciencias Básicas - Proditel

proditel@mail.unlu.edu.ar

2 - CICYTTP-CONICET

cidacenolaza@infoaire.com.ar

3 - EEA San Luis - INTA

dcollado@sanluis.inta.gov.ar

RESUMEN

La cartografía sobre modelos de combustibles plantea diversos problemas asociados a la dinámica espacio-temporal de los materiales comburentes. Hasta el presente no se han realizado aproximaciones ni evaluado la factibilidad de uso de las imágenes MMRS/SAC-C en este tipo de aplicaciones, de modo que el objetivo del presente trabajo es evaluar su utilización para cartografiar modelos de combustibles a escala regional. Para la identificación de los mismos se utilizaron técnicas de clasificación basada en la respuesta espectral de los píxeles y técnicas de segmentación de objetos, comparándose posteriormente los resultados. El área de estudio comprende mas de 80.000 Km² de la región centro-sur de la provincia de San Luis y Oeste de la provincia de Mendoza. En la misma, fueron identificados 5 modelos de combustible en base al elemento propagador del fuego, tomando como base los modelos creados por el US Forest Service. Los criterios adoptados para asociar las unidades ambientales al modelo estadounidense se basaron en las características fisonómicas y de biomasa de dichas unidades. La resolución espacial, espectral y temporal del satélite MMRS/SAC-C posibilita este tipo de cartografía a escala regional. La clasificación de objetos creados por segmentación, permite incorporar además de las características físicas, las contextuales como forma, tamaño, orientación, distancias a otros objetos y clases, entre otros. Los resultados de la clasificación fueron corroborados con datos de campo. La totalidad de los puntos relevados como modelo 1 y el 63 % de los relevados como modelo 5 fueron correctamente asignados según la técnica de clasificación orientada a objetos. Las coberturas que presentan una distribución en forma de “isletas”, como el chañar (*Geoffroea decorticans*), correspondiente al modelo 9, fueron correctamente separadas del resto de las coberturas boscosas por clasificación de objetos.

Palabras clave: Clasificación orientada a objetos, MMRS/SAC-C, modelos de combustible

1- INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista ecológico, el fuego puede ser considerado como un disturbio que no es particularmente ni positivo ni negativo (Grime, 1997, White y Pickett, 1985, Barbour et al., 1999). Si bien con su acción se destruye biomasa vegetal, al mismo tiempo se crean espacios abiertos donde pueden establecerse nuevos individuos que darán paso a las diversas etapas sucesionales de las comunidades vegetales y animales. (Delafossé, et al, 2004).

En este marco deben diferenciarse dos tipos de fuego, los prescritos, que se producen bajo condiciones definidas y controladas con objetivos de manejo específicos y los accidentales causados por factores humanos derivados de la imprudencia.

En la región centro-oeste de Argentina, la alta frecuencia, intensidad y en ocasiones la intencionalidad de los mismos representa un grave problema. El uso del fuego como práctica de manejo se convierte en una técnica riesgosa si no se respetan las leyes que regulan su empleo. Actitudes negligentes e inadecuada instrumentación de las quemas, constituyen el origen de los mismos en numerosas ocasiones.

Estudios recientes realizados sobre un área piloto de más de 10 millones de hectáreas de el centro Oeste de la provincia de San Luis y el centro este de la provincia de Mendoza indican que en un período de 6 años se produjeron en la zona 956 incendios, los que afectaron aproximadamente el 25 % de la superficie considerada; el tamaño promedio de cada incendio fue de 3332 ha para los ocurridos en primavera/verano, y de 1211 ha para los de otoño/invierno. (Collado, op cit). En esta región la destrucción de la cubierta vegetal y su lenta recuperación expone a los ambientes, áridos y semiáridos a pérdidas de biodiversidad, disturbios del ciclo hidrológico y de nutrientes, erosión de los suelos y desertificación. El humo y la liberación del anhídrido carbónico producen efectos globales e indirectos al incrementar las consecuencias negativas del efecto invernadero.

Una vez producida la ignición, el hecho de que el fuego evolucione desde un pequeño foco, hasta un incendio de gran magnitud, depende entre otros factores, de la cantidad (carga), continuidad (disposición horizontal y vertical) y características del combustible vegetal (fino, grueso, inflamable o no), de la temperatura y humedad relativa del aire, de la exposición, de la pendiente y de los vientos. (Delafossé, op cit).

En este contexto, la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) representan una valiosa herramienta para la evaluación del peligro de incendio (previo al suceso), para la detección (durante el suceso) y para la cartografía y seguimiento de áreas quemadas (después del suceso).

Para la fase previa a la ocurrencia del incendio es de gran importancia contar con cartografía actualizada de modelos combustibles, aunque esto implica importantes problemas debido a las continuas variaciones espacio-temporales de los materiales combustibles presentes.

Los satélites de observación de la tierra, como el SAC-C, ofrecen condiciones adecuadas para este tipo de estudios dado la perioricidad de su órbita, la cobertura global que poseen, su resolución espacial y la disponibilidad de información multiespectral.

La homogeneidad en la toma de los datos y la información sobre regiones no visibles del espectro (infrarrojo cercano y medio) suponen una importante ventaja de esta técnica. (Salas y Chuvieco, 1995) ya que al interpretarse digitalmente permite la conexión con otros datos espaciales a partir de su integración en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Uno de los problemas que plantea esta técnica es que el sensor sólo registra el flujo proveniente del dosel vegetal, no del sotobosque, por lo que la estimación del modelo de combustible puede ser errónea. Tal limitación puede atenuarse mediante la intensificación de los trabajos de campo para una asignación más detallada.

Dadas las características, potencialidad y acceso a los datos del sensor instalado en el SAC-C, se propone su utilización, para la cartografía de modelos combustibles.

El objeto de este trabajo es estudiar la factibilidad de utilizar la técnica de segmentación de objetos en combinación con las imágenes del satélite SAC-C para la detección y asignación de modelos de combustibles a un área xerofítica del centro-oeste de la República Argentina.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La región representa un área de transición entre las provincias fitogeográficas Chaqueña, Espinal y Monte (Cabrera, 1994). La provincia del Espinal es la de mayor participación y se caracteriza por la presencia de *Prosopis caldenia* que forma bosques semixerifíticos. También se observan sabanas gramíneas, dunas con vegetación psamófila y suelos salinos con matorrales y estepas halófilas (Anderson et al. 1970; Cabrera, 1994). Hacia el oeste se desarrolla un gradiente de cambio hacia las típicas estepas arbustivas xerófilas del Monte.

El clima es continental seco con inviernos fríos y veranos calurosos. Las precipitaciones disminuyen progresivamente hacia el oeste de modo que se observa una bipolarización del paisaje: el sector noreste destinado a actividades agrícolas de secano, y el sector suroccidental en donde prevalece una actividad ganadera que se extensifica hacia el oeste debido a la disminución progresiva de las precipitaciones.

El área de estudio de más de 80.000 Km², comprende parte de los departamentos General Pedernera, Capital y Gobernador Dupuy en la provincia de San Luis, y General Alvear en la provincia de Mendoza (Figura 1).

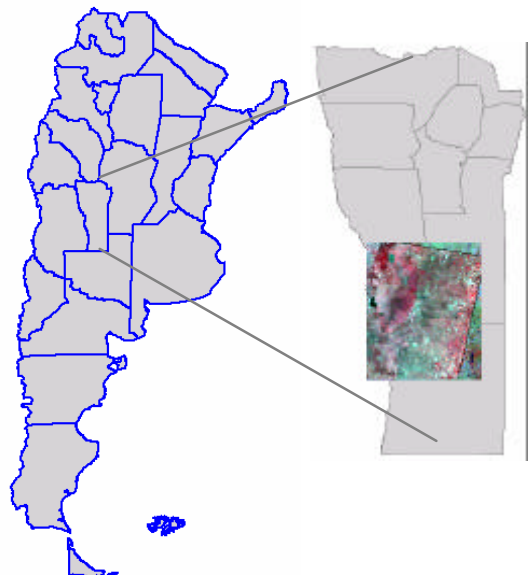


Figura 1: Ubicación del área de estudio

2.2. Sensor e Imagen utilizada

El trabajo se realizó sobre la imagen del sensor MMRS/SAC-C Órbita 230, nivel de procesamiento 1B, del 13/10/03.

El sensor MMRS es uno de los instrumentos del satélite argentino SAC-C puesto en órbita en noviembre de 2000. Este sensor es un barredor electrónico con capacidad de detección en 5 bandas del espectro electromagnético. La resolución espacial es de 175 ó 350 metros, seleccionable. Por tratarse de un barredor tipo "Push Broom", tiene un ancho de barrido constante de 360 Km. El largo de la imagen depende solamente de los instantes de inicio y fin de la toma, estando éstos limitados por la capacidad del grabador a bordo, para el caso de las imágenes almacenadas.

Para la transmisión en tiempo real, la limitación está dada por el tiempo en que el satélite se mantiene visible para la Estación Terrena Córdoba de CONAE. Las bandas del espectro donde registra datos son las correspondientes al azul verdoso, verde, rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo medio de onda corta (SWIR). Su resolución temporal es de 9 días.

2.3. Cartografía Utilizada

- Cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM) escalas 1:250.000, 1:100.000 y 1:50.000.
- Carta de Suelos y Vegetación de la provincia de San Luis

2.4. Generación de la base cartográfica

En una primera etapa se elaboró la base cartográfica digital. Para el área piloto correspondiente a la provincia de San Luis, se realizó el escaneado y georreferenciación de las Cartas IGM escala 1:250.000 correspondientes a: Canalejas 3566 III, Nahuel Mapá 3566I, San Luis 3366 III, Villa Huidobro 3566 II, Villa Mercedes 3366 IV; y 1:100.000 correspondientes a: Alto Pelado 3366-33, Batavia 3566-16, Beazley 3366-32, Estancia la Florida 3366-31, Estancia Los Baldes 3566-28, Laguna el Corralito 3566-10, Laguna los Cisnes 3566-4, Nueva Escocia 3366-34, Unión 3566-22.

Las capas de vegetación y suelo correspondientes a la Carta de Suelos y Vegetación de la provincia de San Luis, fueron re proyectadas e incorporadas a la base de datos. Se re proyectó e incluyó como capa una cobertura de catastro parcelario.

2.5. Preprocesamiento de la imagen

La imagen MMRS/SACC, correspondiente al área de estudio, de fecha 13/10/03 fue corregida geoméricamente y georreferenciada a partir de puntos obtenidos de las cartas topográficas. El método utilizado fue el de vecino más cercano para preservar los valores originales de la imagen. Se trabajó con una ventana de 1630 por 1640 píxeles. No se realizó corrección radiométrica de los datos ya que el presente estudio no es de carácter multitemporal. Para la clasificación fueron considerados los ND originales de la imagen.

2.6. Trabajo de Campo

Se realizó una visita de campo al área piloto en la provincia de San Luis en fecha coincidente con el día de toma de la imagen. Se visitaron sitios representativos de las diferentes unidades fisiográficas. De cada uno de los puntos relevados a campo se tomaron coordenadas GPS, fotografías y una breve descripción de las comunidades encontradas.

2.7. Modelos combustibles

Para la clasificación de los modelos de combustibles se utilizó la leyenda de 13 clases (programa BEHAVE) del *United States Forest Service* que categorizan las formaciones vegetales según su comportamiento frente al fuego (Burgan y Rothermel 1984). Estos modelos tipifican la vegetación -definida por la densidad, compactación, proporción de materia muerta y estructura vertical del estrato forestal, según la fisonomía principal del agente propagador del fuego: pastizales, matorrales, hojarasca y restos de corta por operaciones silvícolas. Ante la ausencia de ensayos locales que permitan establecer modelos de combustibles para esta región se asignaron las clases según las descripciones de las unidades fisonómicas del área de estudios realizada por Anderson *et al.* (1970).

Las unidades que comprenden son: Llanura Arenosa con meandros antrópicos (U7); Llanura loésica de arizona (U8); Planicie arenosa de Anchorena con meandros aislados (U9); Llanura medanosa con lagunas permanentes (U10); Llanura medanosa central muy pronunciada (U11); Llanura medanosa marginal (U12); Llanos costeros del Río Salado (U13); Dorsal distal con cobertura arenosa (U14); Dorsal ondulado con cobertura loessica (U15) y Planicie y terrazas del sistema aluvial de ríos Salado, Desaguadero y Lagunas de Guanacache (U24). (Peña Zubiate et al, 1998). (Figura 2).

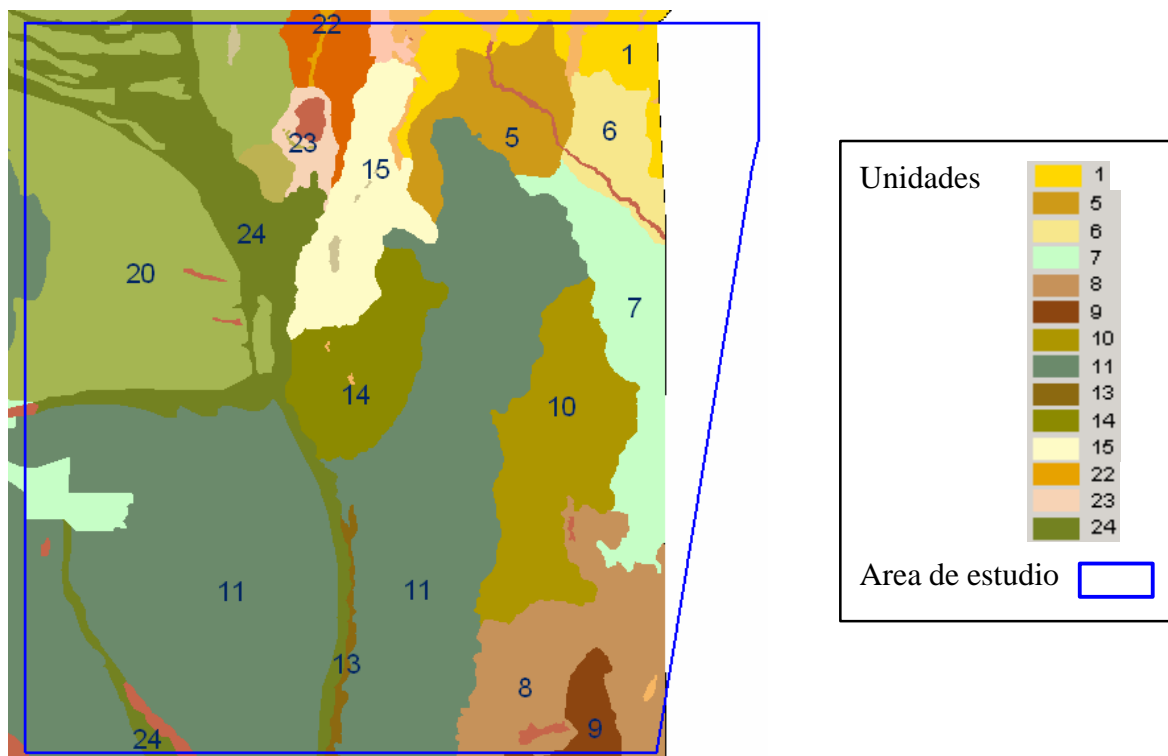


Figura 2: unidades presentes en el área de estudio

2.8 Asignación de modelos

Para la identificación de estos modelos se utilizaron técnicas de clasificación basada en la respuesta espectral de los píxeles y técnicas de clasificación de objetos creados por segmentación, comparándose posteriormente los resultados. Este último, a diferencia de los métodos tradicionales de procesamiento de imágenes está basado en la clasificación de objetos creados por segmentación y no en píxeles. En la segmentación además de las características espectrales es posible incorporar criterios de forma y textura.

Luego, en la clasificación estos objetos se asignan a las clases según criterios de asignación definidos previamente. Los objetos son asignados en función del cumplimiento o no de las condiciones establecidas.

Los algoritmos clásicos de clasificación (Máxima Verosimilitud, Mínima distancia o Paralelepípedos) asignan a los píxeles valores absolutos de 0 ó 1 de acuerdo a si pertenecen o no a determinada clase. Estos algoritmos de clasificación tienen una manera binaria de asignar las clases. A diferencia de ellos los algoritmos basados en lógica fuzzy o clasificadores bayesianos utilizan grados de probabilidad para asignar los objetos a las clases. Los umbrales están entre 0 y 1 donde 0 indica la nula probabilidad de que un objeto pertenezca a determinada clase y 1 la máxima probabilidad. El valor de probabilidad tiene relación con las condiciones establecidas para la asignación de estos objetos a las clases.

2.9. Modelos de combustible aplicados

2.9.1 *Modelo 1:* Este modelo de combustible se aplica a las unidades donde las fisonomías vegetales dominantes corresponden con vegetación herbácea, principalmente pastizales/pajonales. Estas fisonomías representan, por lo general, parte de paisajes en mosaico y que acompañan a fisonomías boscosas como en el caso de la unidad 7, la 8 y la 11.

En general estepas herbáceas constituidas por pastizales con *Nassella tenuissima*, *Stipa ichu* y *Piptochaetium napostaense*, entre otras especies.

Si bien los pastizales representan una fisonomía frecuente en esta área, gran parte de los mismos están modelados por el sobrepastoreo, la tala, el abandono de campos agrícolas y la recurrencia de incendios, se corresponden con comunidades del tipo serales (Cabrera 1994).

Debido al mosaico de fisonomías y el origen de estos pastizales, la diferenciación entre el modelo 1 y el 2 en muchas de las situaciones no es clara. Esto es marcado en aquellas comunidades donde aparecen árboles aislados o bosques abiertos (caldenales y algarrobales, ver modelo 9) donde gran parte de la cobertura edáfica se debe al aporte del pastizal o matorral abierto.

2.9.2 *Modelo 3:* La Unidad 11 (U11) es la región donde se encuentran los pastizales altos de *Sorghastrum pellitum* y *Elionurus muticus*. Estos pastizales se encuentran en la región noroeste de la imagen y corresponden con unidades relictuales de la vegetación climática.

Estos pastizales naturales poseen uso principalmente ganadero, y donde el fuego es un elemento recurrente modelador del paisaje actual. Precisamente, la dominancia de la vegetación herbácea, junto con la altura y estructura del pastizal es lo que condiciona la utilización del modelo 3 a la zona de “pastizales altos” de la unidad 11, no así al resto de la misma que podría asignarse a otros modelos.

2.9.3 Modelo 5: Los arbustales/matorrales son fisonomías frecuentes en esta región. El fuego es un factor activo en la dinámica de la vegetación, propagado por este tipo de fisonomías, o por la hojarasca debajo del matorral, y esta es una de las características que define a este modelo 5.

La estructura en mosaico de las unidades 8, 9, 12 y 14 genera paisajes vegetales a los cuales se les pueden asignar diferentes modelos, pero en todas estas, el matorral es una fisonomía frecuente y recurrente. Jarillales de *Larrea divaricata* o renovales de *Prosopis flexuosa* acompañado por *L. divaricata* son comunidades generalmente secundarias en recuperación o que evidencian degradación. Estas comunidades en las unidades 8, 9 y principalmente 14 son asimilables al modelo de combustible 5, aunque mas estudio debería realizarse para evaluar su correcta asignación en referencia al modelo 6, donde la presencia de combustibles vivos se hace mas dispersa. Estas unidades poseen también fisonomías que se asocian a otros modelos de combustibles, por lo que la interpretación regional de la dinámica del fuego es compleja.

2.9.4 Modelo 6: Cuando el fuego se dispersa principalmente por matorrales de altura media y los combustibles vivos faltan o están dispersos, el modelo 6 es el mas apropiado. Estas características se dan en varias fisonomías vegetales de la región debido a las diferencias de historias de uso que poseen las estepas de “jume” y los matorrales halófitos.

La unidad 24 se corresponde en gran parte con las características del modelo 6. Estepas y matorrales halófilos sobre suelos alcalinos, de hasta 1 m de altura entremezclado con pastizales condicionado por el grado de salinidad del suelo. (Peña Zubiarte op cit)

La presencia de especies halófitas crasas podría condicionar la aplicación del modelo 6 sobre la del modelo 5. Esto se produce con la aparición de *Allenrolfea* spp. y *Salicornia ambigua*.

2.9.5 Modelo 9: Este modelo de combustible se aplica diferencialmente a una serie de unidades de vegetación que se caracterizan por tener una fisonomía boscosa dominante. Entre ellas las isletas de Chañar en la unidad 7; a los bosques de Caldén de la unidad 8; al algarrobal de las unidades 13,14 y 15.

Los cladenales son la comunidad climáxica potencial para gran parte del área de estudio. En la actualidad se corresponde con una comunidad casi relictual debido al intensa explotación a la que fue sometida. La baja cobertura del estrato arbóreo junto con la presencia de un estrato arbustivo pobre genera en la unidad 8 un bosque abierto que se alterna con jarillales o con estepas gramíneas.

Los algarrobales con *Prosopis flexuosa* los podemos encontrar formado parte de las unidades 13, 14 y 15. Estos algarrobales se encuentran mayormente distribuidos en las áreas de mayor afinidad fitogeográfica con la provincia del Monte (Morelo, 1958; Cabrera, 1994), hacia el centro sur del área de estudio como en los llanos costeros del Río Salado. Los mismos corresponden con bosques bajos, semicerrados con estrato arbustivo semicerrado y pastizales.

En las unidades 14 y 15 los bosques de algarrobo se intercalan con arbustales jarillales y pastizales mixtos densos entre otras.

Las isletas de chañar forman una fisonomía claramente identificable tanto en campo como espectralmente y configurarían una unidad relativamente joven ya que se habría generado a partir del manejo agrícola realizado en el siglo pasado. En este sentido, hemos diferenciado el comportamiento de los chañarales sobre los pajonales en esta unidad, asimilando la unidad al modelo de incendio 9. En aquellas fisonomías en las que el bosque se vuelve muy abierto, el modelo mas adecuado sería el 2. (Figura 3).

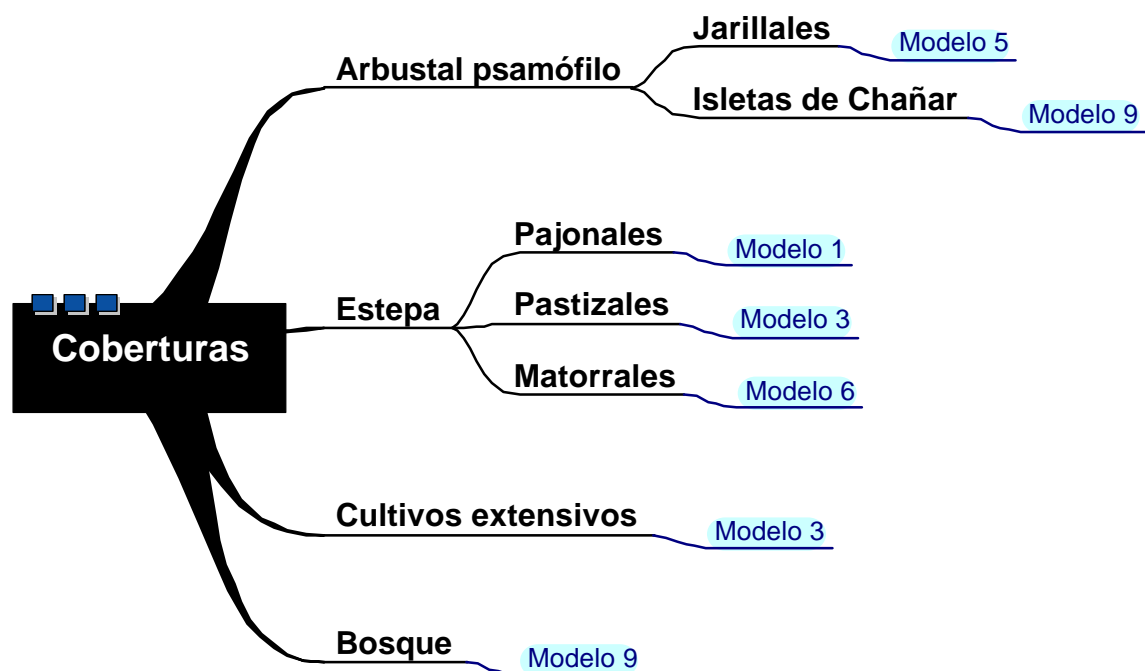


Figura 3: modelos combustibles aplicados

2.8. Identificación de modelos combustibles

2.8.1 Clasificación por segmentación de objetos:

En una primera etapa, para la indentificación de los modelos se segmentó la imagen MMRS/SAC-C. En el proceso de segmentación fueron consideradas las características espaciales, espectrales y de forma de los grupos de píxeles que definen áreas relativamente homogéneas.

Para la segmentación en un primer nivel se incluyeron las bandas del Azul, Verde, Rojo, Infrarrojo Cercano e Infrarrojo Medio de Onda Corta y en un segundo nivel el mapa temático de unidades fisiográficas de la zona de estudio. Se utilizó la opción “Multiresolution Segmentation”, que realiza la extracción automática de objetos homogéneos. La cantidad de los objetos a crear, parámetro relacionado con la resolución de las imágenes, la escala de trabajo y la heterogeneidad de los datos fue de 10. El programa tiene en cuenta tres criterios para la segmentación: “Color”, “Smoothness” y “Compactness”. Para la mayoría de los casos “color” es el más importante y el que tiene mayor peso en la definición de los objetos. El criterio de color tiene en cuenta el porcentaje de homogeneidad espectral. Sin embargo la forma y su homogeneidad resultan también importantes en la extracción de los objetos. Los criterios para la segmentación de las bandas de la imagen, fueron de 0.8 para color y 0.2 para forma y dentro de forma se consideró 0.8 para “Smoothness” y 0.2 para “Compactness”.

Los criterios para la segmentación del segundo nivel (mapa de unidades fisiográficas) fue de 1 para el color (que representaba cada una de las unidades).

Los datos de campo recolectados y la información auxiliar disponible permitió la definición de muestras para cada una de las clases.

Posteriormente se procedió a la clasificación de los objetos generados por segmentación y al establecimiento de reglas para su asignación a las diferentes categorías temáticas. En la figura 4 se presenta el esquema de las categorías generadas, su organización jerárquica y los criterios y reglas de asignación.

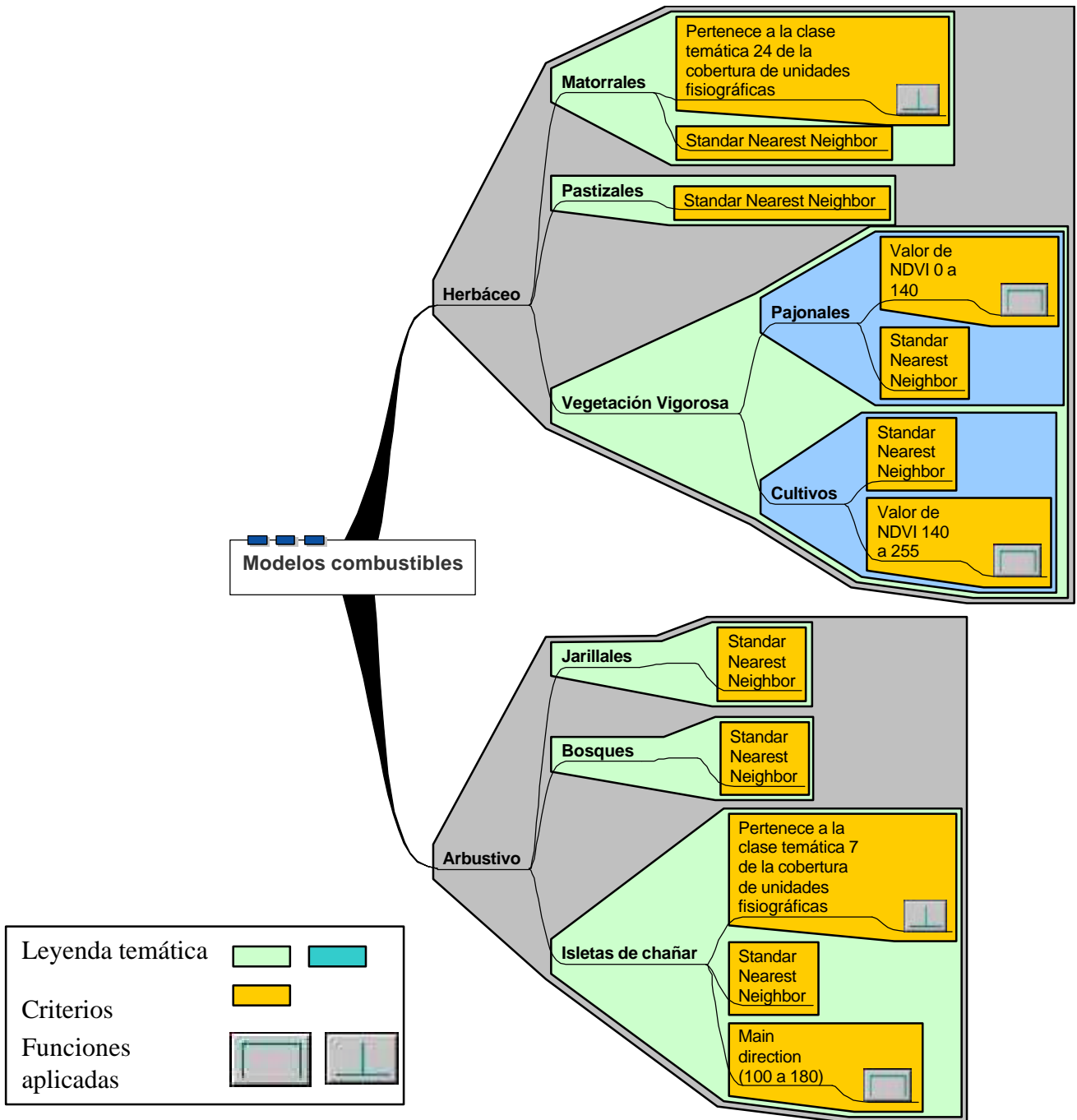


Figura 4: esquema de las categorías generadas, organización jerárquica, criterios y reglas de asignación.

2.8.2. Clasificación basada en la respuesta espectral

Se utilizó el algoritmo de Máxima Verosimilitud para clasificar la imagen. A las bandas del MMRS/SACC se le agregó como información auxiliar un índice de vegetación para tratar de mejorar la separabilidad de las clases. Uno de los inconvenientes en el proceso de clasificación, fue la homogénea respuesta espectral entre las clases a separar (Jarillales, Pastizales, Matorrales y Bosque). El índice de vegetación seleccionado fue el SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) (Huete, 1988; Huete et al., 1992), el cual deriva del NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y al que se le adiciona un factor de corrección por la alta presencia de suelo (L); según Huete et al. (1994), el mismo adopta valores próximos a 0,5.

$$NDVI = \frac{IRc - R}{IRc + R + L}(1 + L)$$

Este índice más las bandas correspondientes al Azul, Verde, Rojo, Infrarrojo Cercano e Infrarrojo Medio fueron seleccionadas para llevar a cabo la clasificación. Las categorías temáticas utilizadas ya fueron descritas con anterioridad.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sensor MMRS/SACC, por su resolución espacial, espectral y temporal, resulta apropiado para la generación y actualización de cartografía de modelos combustibles a escala regional que pueda ser utilizada para el cálculo de mapas de probabilidad de ignición.

De acuerdo a la evaluación de los resultados de las clasificaciones realizadas por los dos métodos con datos de campo, la totalidad de los puntos relevados como modelo 1, el 63 % de los relevados como modelo 5 y el 60 % de los relevados como modelo 9 fueron correctamente asignados según la técnica de clasificación orientada a objetos. La clasificación por el método de Máxima Verosimilitud permitió identificar correctamente el 81 % de los relevados como modelo 5, el 80 % de los relevados como modelo 9 y solo el 33 % de los relevados como modelo 1.

Los resultados se presentan en: tablas 1 y 2; figuras 5 y 6 respectivamente

Tabla 1: Clasificación de objetos creados por segmentación

| Clasificación Campo | Mod. 1 | Mod. 3 | Mod. 5 | Mod. 6 | Mod. 9 | TOTALES | % acierto |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|------------------|
| Modelo 1 | 6 | | | | | 6 | 100 |
| Modelo 3 | | 23 | 2 | 6 | 1 | 32 | 71.9 |
| Modelo 5 | | 4 | 19 | 3 | 4 | 30 | 63.3 |
| Modelo 6 | | 2 | 1 | 3 | 1 | 7 | 42.9 |
| Modelo 9 | | 3 | 15 | | 15 | 33 | 45.5 |
| TOTALES | | | | | | 108 | |

Porcentaje total de aciertos 61.11 %

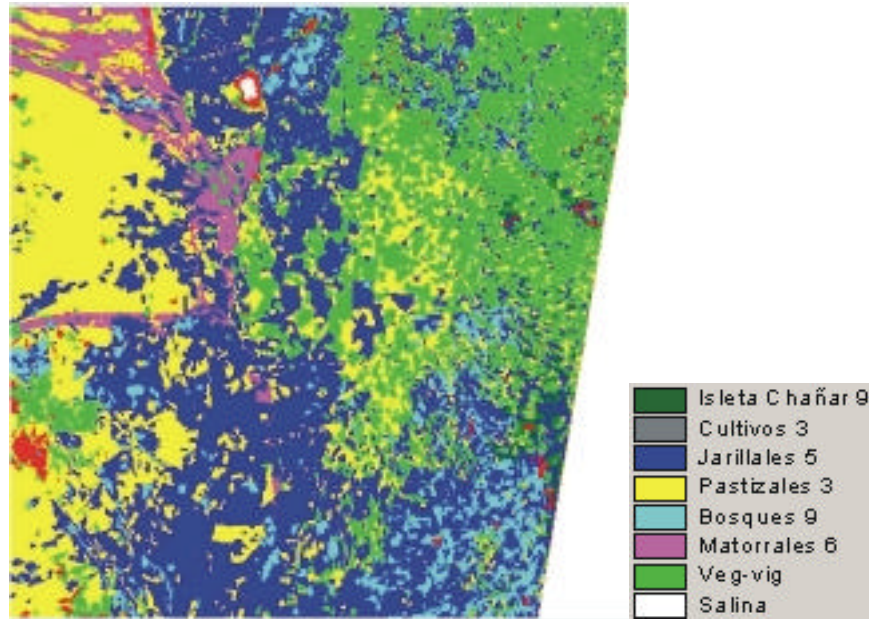


Figura 5: Clasificación de objetos creados por segmentación

Tabla 2: Clasificación por Máxima Verosimilitud

| Campo \ Clasificación | Clasificación | | | | | TOTALES | % acierto |
|-----------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| | Mod. 1 | Mod. 3 | Mod. 5 | Mod. 6 | Mod. 9 | | |
| Modelo 1 | 2 | | 3 | 1 | | 6 | 33.3 |
| Modelo 3 | | 19 | 5 | 5 | 3 | 32 | 59.4 |
| Modelo 5 | | 15 | 13 | | 2 | 30 | 43.3 |
| Modelo 6 | | 2 | 2 | 3 | | 7 | 42.9 |
| Modelo 9 | | 2 | 9 | | 22 | 33 | 66.7 |
| TOTALES | | | | | | 108 | |

Porcentaje total de aciertos 54.63 %

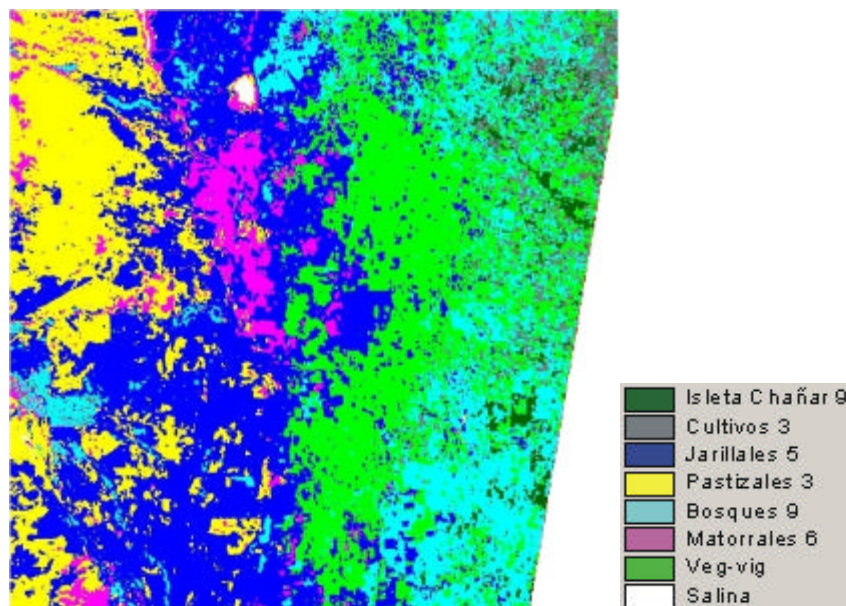


Figura 6: Clasificación por Máxima Verosimilitud

Si bien los resultados obtenidos hasta el momento no permiten concluir fehacientemente la ventaja de esta técnica sobre la tradicional, si aportó notables ventajas en la identificación de

coberturas que presentan una distribución en forma de isletas, como el chañar (*Geoffroea decorticans*), correspondiente al modelo 9, las cuales fueron correctamente separadas del resto de las coberturas boscosas por clasificación de objetos. Si bien espectralmente no presentaba diferencias que permitieran separarla del resto de las coberturas boscosas, los criterios adicionales de forma, orientación, lo posibilitaron.

Otra ventaja adicional de este método fue la posibilidad de separar las clases matorrales, de pastizales. Si bien espectralmente no se separan, la información adicional provista por el mapa de unidades fisiográficas, permite disgregar estas coberturas.

Para la clasificación por el método de Máxima Verosimilitud, las zonas de mayor dificultad de clasificar se encontraron al noreste del área de estudio. Allí existe una diversidad de clases muy contrastantes como Bosque, Vegetación vigorosa, Cultivos y Jarillales. Otro inconveniente fue separar correctamente la clase Matorral de Pastizal, ya que espectralmente son muy similares.

Este trabajo presenta una propuesta, como primer aproximación, a los modelos de combustibles para el área piloto y la misma debería ser validada con ensayos de campo.

Este contexto supone que el sensor MMRS/SACC, por su resolución espacial, espectral y temporal, resulta apropiado para generar y actualizar cartografía de modelos combustibles a escala regional, aspecto que facilitaría la obtención de mapas de riesgo de ignición.

4. AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) por las imágenes utilizadas en la elaboración de este trabajo.

5. BIBLIOGRAFÍA

Anderson D. L., Del Aguila J. A., Bernardon, A. E., 1970. Las formaciones vegetales en la provincia de San Luis. Revista de Investigaciones Agropecuarias. INTA. Buenos Aires. Argentina. Serie 2, Biología y Producción Vegetal. Vol VII, Nro. 3. 1970

Barbour M., Buró, J., Pitts, W., Gillia, F., y Schawartz., M., 1999. Terrestrial plant ecology (Third edition). Benjamín/Cummings, Menlo Park, California. EEUU

Burgan, R.E., y Rothermel, R.C., 1984. BEHAVE. Fire behaviour prediction and fuel modeling system -Fuel subsystem. Gen. Tech. Rep. INT-167. USDA, Forest Service.

Cabrera, A.L. 1994. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería ed. 2, 2 (1): 85 pp. Acme S.A.C.I., Buenos Aires.

Chuvieco, E., 2002. "Teledetección Ambiental". Ediciones Ariel Ciencia, Madrid, 586 p.

Collado, A. D.. 2003. Teledetección y estudios sobre desertificación en San Luis. Editores: M. O. Aguilera y J. L. Panigatti. Con las metas claras. Ed. INTA. 2003

Defossé, G., y Urretavizcaya, M. F.. 2004. Introducción a la Ecología del Fuego. Ed. Kunst C.; Bravo S. y Panigatti J. Fuego en los ecosistemas argentinos. Ed. INTA

García, M., Chuvieco, E., 2004. Assessment of the potential of SAC-C/MMRS imagery for mapping burned areas in Spain. *Remote Sensing of Environment* 92 (2004) 414–423

Giulietti, J. D.; Echeverría, J.C., y Collado, A. D.. 2003. Condicionantes históricos de la desertificación en San Luis. Editores: M. O. Aguilera y J. L. Panigatti. Con las metas claras. Ed. INTA. 2003

Grime, J.. 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist* 11. 1169-1194

Huete, A.R.. 1988. “A soil-adjusted vegetation index (SAVI)”. *Remote Sensing of Environment*. 25:295-309

ICONA 1987. Clave fotográfica para la identificación de los modelos de combustible. MAPA, Madrid.

Morello, J. 1958. La provincia fitogeográfica del Monte. *Opera Lilloana* 2; 156 pp. Tucumán.

Peña Zubiate, C. A., Anderson, D. L., Demmi, M. A., Saenz, J. L., D’hiriart, A.. 1998. Carta de Suelos y Vegetación de la Provincia de San Luis.

Salas, F.; Chuvieco, E. 1995. “Aplicación de imágenes Landsat-TM a la cartografía de modelos de combustibles”. *Revista de Teledetección*. Vol 5.

Vázquez Espí, M. F., y Denore, B. J.. 1999. FOMFIS, un sistema para la cartografía de combustibles forestales a partir de imágenes de satélite de alta resolución. *Revista de Teledetección* 1999. Nº. 12

White, P., y Pickett, S., 1985. *Vegetation of the Herat and ecological systems of the geo-biosphere*. Third edition. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York Tokyo.