

Cartografía y Gestión del Riesgo de Incendios Forestales e Interfase en la Localidad de Salsipuedes, Sierras Chicas, Córdoba

Raúl Nicolás Francisco

nico.fran91@gmail.com

Licenciatura en Geografía. Director de TFL: Ing. Rubén Actis Danna

Recibido: 31/05/17 / Aceptado: 13/09/17

Resumen

Los incendios forestales son una problemática ambiental creciente en la Provincia de Córdoba, Argentina, sumado a la disminución de los bosques nativos por la deforestación indiscriminada, el avance agropecuario y los desarrollos urbanísticos en las últimas décadas, nos encontramos ante una realidad ambiental compleja en la que la preservación de los recursos forestales debe ser prioridad para las instituciones gubernamentales y la sociedad en general. En base a esto y en el marco de mi Practica Profesional Supervisada (PPS), se llevaron a cabo una serie de mapas de riesgo de incendios en la localidad de Salsipuedes, ubicada en el cordón oriental de las Sierras Chicas y en colaboración con la Asociación de Bomberos de dicho lugar y la comunidad en general. Para su realización se propuso un modelo de riesgo de incendios utilizando como herramientas principales a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección y metodologías participativas como la Evaluación Multi Criterio (EMC) y el Proceso de Jerarquías Analíticas. A través de estas se establecieron una serie de variables para la identificación de posibles focos de riesgo de ignición y potenciales áreas de propagación que luego fueron ponderadas y procesadas para la construcción de la presente cartografía y los posteriores análisis del riesgo de incendios en todo el radio de la localidad de Salsipuedes.

Palabras Claves: Incendios Forestales - Mapas de Riesgo - Sistemas de Información Geográfica

1. Introducción

A manera de presentación se puede afirmar que los incendios han reducido significativamente los bosques nativos de la Provincia de Córdoba, sumado a la creciente deforestación y cambios de uso de suelo por la extensión de las fronteras agropecuarias y urbanas. Estudios recientes indican que entre 1999 y 2013, los incendios degradaron el 27,1 % de la superficie de bosques de los principales sistemas serranos de nuestra provincia (Grupo Idea, CONICET, 2015). De esa superficie quemada

294.174 ha, se quemaron dentro del corredor de Sierras Chicas, superficie que representa un 36,2% del total en Córdoba, el mayor de los cuatro sistemas serranos. Dentro de este corredor en su faldón oriental se encuentra la localidad de Salsipuedes, al norte de la ciudad de Río Ceballos y a 35 km de la Ciudad Capital de la provincia. Allí es donde se desarrolló la presente Práctica Profesional Supervisada (PPS) junto con la Asociación de Bomberos Voluntarios de dicha localidad con el objetivo de elaborar un mapa de riesgo de incendios que integre tanto el riesgo de ignición, entendido como el potencial de inicio de un incendio y el riesgo de propagación, reflejando las posibilidades que un fuego tiene de propagarse hacia otras áreas. Para la elaboración cartográfica se utilizaron los sistemas de información geográfica (SIG) basados en la metodología de la Evaluación Multi Criterio (EMC), que consiste en la identificación de variables (capas criterio) para resolver un objetivo (la cartografía de incendios). Estas capas son clasificadas de acuerdo al riesgo de incendios que conlleva cada una y luego son evaluadas y jerarquizadas mediante el uso del Proceso de Jerarquías Analíticas (Saaty 1998), en la cual cada capa es ponderada en una matriz de comparación por pares de criterios, para luego obtener un algoritmo de valor que mediante el uso de los SIGs nos proporciona como resultado los mapas de incendios aquí producidos. Este modelo permitió avanzar en la planificación de la gestión del riesgo de incendios, sobre todo en lo que respecta a la prevención de los mismos. Es así que junto con la Asociación de Bomberos y con la colaboración de la Municipalidad de Salsipuedes se pudo llevar a cabo el siguiente proyecto de gestión del riesgo de incendios en Salsipuedes.

2. Desarrollo

2. a Marco Teórico

A los incendios se los puede dividir en diversas clases, de acuerdo al contexto geográfico donde se lleven a cabo: urbanos, de interfase, forestales y rurales. Los

primeros son aquellos que se llevan a cabo sobre áreas de servicios, viviendas, comercios o sobre artefactos como automóviles siempre dentro de una continuidad urbana, aunque su delimitación es difusa. Cuando este incendio se propaga en áreas contiguas a zonas rurales se lo denomina de interfase, un ejemplo común de estos son aquellos incendios que se desarrollan en las periferias urbanísticas, donde se observa un paisaje mixto entre las viviendas y la vegetación autóctona o plantaciones rurales. A su vez si el incendio se desarrolla en gran proporción en áreas rurales, afectando generalmente a una vegetación del tipo matorrales, arbustales o pastizales, se lo puede denominar incendio rural (Guía sobre la prevención de incendios, Provincia de Córdoba; 2011). Podemos definir a los incendios forestales como aquellos *“fuegos no programados o no controlados, que afectan de diversas formas a las tierras forestales, como recurso protector, económico o recreativo. Estas tierras están definidas como tales en la ley nacional n° 13.273, de defensa de la riqueza forestal”* (Plan de manejo del fuego de la Provincia de Córdoba; 2012).

“El análisis de las causas de los incendios forestales es uno de los elementos claves para el establecimiento de una metodología de trabajo y la adaptación de los diferentes índices de la realidad” (Blas Morato y Nieto Massot, 2008:490).

Para el estudio y determinación de la incidencia de cada factor, se suele considerar a la pendiente, de gran incidencia en la propagación de un incendio, la altitud y la exposición u orientación de las laderas. Estos últimos tienen mayor incidencia en las posibilidades de inicio de un fuego, ya que a mayor altitud, las condiciones meteorológicas cambian, al igual que los suelos. Mientras que las laderas que reciben mayor radiación solar diaria, suelen tener una vegetación más espaciada y una mayor probabilidad de ignición, al contrario de aquellas que se encuentran en la sombra que presentan una vegetación más abundante. En cuanto a los combustibles, poseen una gran variabilidad entre lugares cercanos, asociado a la espacialidad y al tiempo, ya que depende mucho de la estación del año, la humedad del suelo, insolación diaria de los

suelos, la topografía y las condiciones meteorológicas, entre otras. Estos últimos a su vez son todavía más dinámicos ya que si bien podemos determinar ciertas condiciones climáticas estacionales y permanentes en distintas ecoregiones, las variables meteorológicas como temperaturas, humedad, precipitaciones, vientos y días consecutivos de sequedad determinan muchas veces las probabilidades de generar un incendio en cualquier lugar.

Uno de los factores quizás más importantes y determinantes en la generación de incendios en la Argentina y en el mundo es el humano (Aragaña et al 2015; Chuvieco et al, 1998; Carretero, 1995). Para medir su incidencia se suele utilizar las variables de densidad poblacional, la cercanía a carreteras, a basurales y el uso del suelo, entre otras.

“En la actualidad los regímenes de fuego se encuentran altamente influenciados por las actividades humanas, que modifican el número de igniciones y la disponibilidad de combustibles. El resultado de esta influencia se manifiesta en cambios en la frecuencia, severidad y distribución del fuego en el paisaje” (Aragaña et al, 2015:1).

El riesgo de incendios puede ser definido como el potencial o la probabilidad de ocurrencia de un incendio en un lugar determinado. Para Chuvieco (2007) además se debe considerar la vulnerabilidad que hace referencia al daño potencial que el fuego supondría para un lugar. Para determinar el riesgo de incendios (que más adelante estaremos desarrollando), se puede calcular el riesgo de ignición, que significa el potencial de inicio de un incendio, y el riesgo de propagación que sería la probabilidad que tiene un incendio de extenderse o propagarse por diferentes sectores. Ambos utilizan diferentes variables o factores para su determinación, por ejemplo, para calcular el riesgo de ignición, un factor clave es la vegetación y la proximidad a centros urbanos, ya que de estos depende que un fuego se inicie, a diferencia del riesgo de propagación, donde se vuelven casi determinantes las condiciones meteorológicas

como el viento, precipitaciones o humedad del suelo y la presencia de cortafuegos, como ríos, arroyos o carreteras.

En cuanto a lo que la gestión del riesgo se refiere, Marcano Montilla & Rios (2010) hacen hincapié en que el riesgo no es un producto sino un proceso y en la presencia de un riesgo existente y un riesgo latente o potencial. Estos mismos explican que desde 1972 en las Conferencias de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, pasando por las Cumbres de la Tierra en Río de Janeiro 1992 y Nueva York 1997, que la comunidad internacional se ha preocupado por resolver los desastres y a cómo actuar después de ocurridos, para pasar luego a la necesidad de mitigarlos y en la actualidad más orientado a la ejecución de acciones para la prevención de los mismos, en el cual el paradigma predominante es el de la "gestión". Este interés resulta de las pérdidas económicas, culturales y naturales que los desastres han provocado en las últimas décadas, ratificando la necesidad de orientar recursos al área preventiva.

Si hablamos de la gestión del riesgo hay que considerar la particularidad del entorno ya sea por las condiciones físico-naturales o la forma de organización social del espacio de una comunidad determinada. En consonancia con Lavell & Mansilla (2003), en los casos de una gestión de riesgos local, se entiende que debe haber un proceso altamente participativo por parte de los sectores sociales locales.

"La gestión de riesgos puede estar definida como un proceso social complejo, cuyo fin último es la reducción o la previsión y el control permanente del riesgo de desastre en la sociedad, en consonancia con, e integrada al logro de pautas de desarrollo humano económico, ambiental y territorial sostenible" (Marcano Montilla & Rios, 2010:5).

2. b Área de estudio

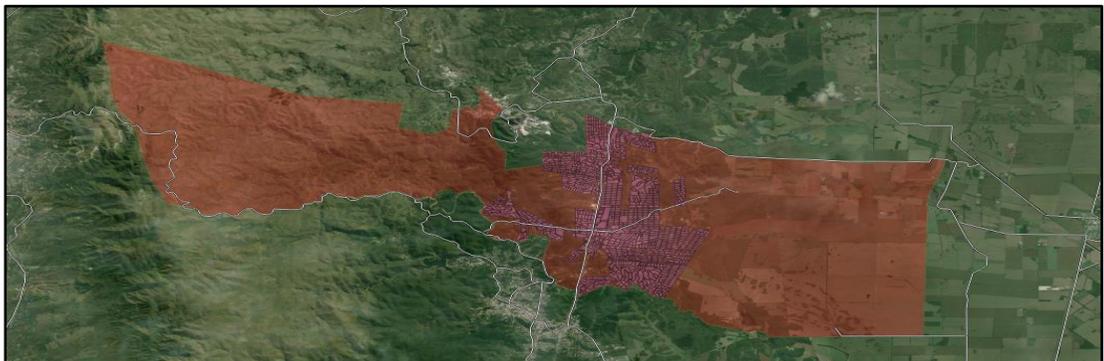
La localidad de Salsipuedes se encuentra en el faldón oriental de las Sierras Chicas, en el Departamento Colón de la Provincia de Córdoba. La llamada región de las Sierras

Chicas posee una dirección norte-sur con una altitud promedio entre los 500 y 1947 msnm y ocupa la porción semiárida del sector sur del bosque chaqueño. A partir de los trabajos de Gavier (2004) y Zak y Cabido (2002) podemos decir que esta región posee una vegetación hasta los 750 msnm, de bosques bajos dominados por los *Aspidosperma Quebracho Blanco*, *Prosopis Spp* y *Acacias Spp*, mientras que por encima de los 700 hasta los 1200 msnm es dominado por las especies *Lithraea Molleoides* y *Zanthoxylum coco*. En las zonas de matorrales entre los 1000 y 1100 msnm, domina la especie *Heterothalamus Alienus*, y en los pastizales usualmente por encima de los 1000 msnm, domina la especie *Festuca Hierunymi*. De todas maneras la vegetación nativa ha sido fuertemente alterada debido al cambio de uso de suelo en las zonas bajas y a la elevada tasa de deforestación, introducción de especies exóticas invasivas como los siempre verdes y a los reiterados incendios anuales. El clima es semiárido, con un régimen de lluvias monzónico, que promedia los 960 mm anuales y una media de temperaturas en los 16.8 °C¹. La mayor parte de estas lluvias ocurren entre los meses de octubre y marzo (primavera y verano). Los inviernos son secos y templados, con temperaturas relativamente altas ya para los meses de agosto y septiembre.

Una de las localidades más afectadas por los incendios en las Sierras Chicas es Salsipuedes. La misma se encuentra a una altitud media de 744 msnm y posee una población estimada de 9003 habitantes (censo año 2008). La localidad de Salsipuedes ha tenido un gran crecimiento urbanístico en las últimas décadas, así como todas las localidades de Sierras Chicas, tales como, Río Ceballos, Mendiolaza, Unquillo, etc. Este fenómeno se debió en gran parte gracias a la cercanía con la Ciudad Capital de la Provincia de Córdoba, hecho que provoca que estas localidades funcionen como "ciudades dormitorio", sumado al mejoramiento de las rutas adyacentes, entre las cuales se destacan las rutas provinciales E53 y la E57, que comunican los sectores este y oeste de las Sierras Chicas.

Es importante resaltar que para la realización de la cartografía de riesgo de incendios, se tomaron como límites espaciales, el radio pretendido² de la Municipalidad de Salsipuedes, proporcionado por la Dirección de Catastro del mismo municipio. En la figura 1 se puede ver en rojo el radio pretendido y en violeta el loteamiento que abarca el radio de servicios. Al sur se observa la Ciudad de Río Ceballos, al norte el poblado de El Manzano, al oeste, en el sector occidental de las Sierras Chicas, las localidades de Valle Hermoso y La Falda. Al este limita con el radio pretendido de la localidad de Estación General Paz.

Figura 1: Radio pretendido de la localidad de Salsipuedes y área de estudio del presente trabajo (en rojo)



Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Salsipuedes. Software: Qgis 2.10. Proyección: Gauss-Krüger. Sistema de referencia:

2. c Problemática

Los incendios forestales, se ha convertido en un flagelo global en las últimas décadas, debido a los cambios climáticos que acentuaron ciertas variables meteorológicas como la falta y exceso de precipitaciones y las temperaturas extremas, potenciadas por la determinante influencia del hombre en el uso de los suelos y en los procesos de ignición por causas tanto accidentales como intencionales. Esta problemática no es ajena a nuestro país y en mucho menor medida a Córdoba. Se estima que en

Argentina se incendian aproximadamente 250.000 ha de bosques por año, siendo Córdoba una de las provincias históricamente más afectadas. Dentro de esta provincia se ha hecho una zonificación de aquellas áreas que poseen un mayor riesgo de incendios forestales y/o rurales. Según la información del área gubernamental de la Provincia de Córdoba encargada de los incendios, se puede ver cómo el área en la que se encuentran las Sierras Chicas, corresponde a una "zona crítica". Esta zona posee una estacionalidad de los incendios correspondientes a los meses invernales (julio-septiembre), aunque estudios más recientes indican que estos periodos se han extendido, siendo los periodos comprendidos entre los meses de junio y noviembre, como los meses más críticos en la cantidad de incendios registrados. Estos meses coinciden con los picos de bajas temperaturas y precipitaciones que se registran a partir del mes de mayo hasta agosto. Según los estudios del Plan del Manejo del Fuego de la Provincia de Córdoba, este periodo se caracteriza por la abundante presencia de material vegetal, fruto de la temporada de crecimiento estival, el cual se seca por la falta de agua y por la presencia de heladas que matan a las plantas herbáceas. A esto hay que sumarle las condiciones de humedad y de disponibilidad de combustible seco que se encuentran por los frecuentes vientos de agosto y septiembre y que agravan los incendios porque renuevan el aporte de oxígeno y facilitan su dispersión.

Un estudio del grupo de investigación del Instituto de Diversidad y Ecología Animal (Idea) del Conicet y publicado por el sitio web de divulgación científica de la UNC, "unciencia", determinó a través del análisis de imágenes satelitales Landsat, que entre 1999 y 2013, se incendió el 27,1 % de la superficie de los cuatro principales sistemas serranos de la provincia de Córdoba (Sierras Grandes, Sierras Chicas, Sierras del Norte y Cumbre de Gaspar) afectando a un total aproximado de 657 mil ha de cubierta forestal.

Según el mismo estudio, del total de la superficie quemada, un 36,2% corresponde al sector de las Sierras Chicas. Igualmente se aclara que este porcentaje no significa que el área quemada de bosque no se haya regenerado, pero sí que es posible que estos incendios hayan generado cambios en las coberturas de los suelos y en las cuencas hídricas de la región. En lo que respecta a la localidad de Salsipuedes, según registros recolectados de los bomberos voluntarios de dicho lugar, en los últimos años (datos solamente disponibles desde el año 2011), se han registrado un promedio de 22,5 incendios forestales-interface anuales, siendo el año 2013 el año de mayor ocurrencia de incendios con 54 incendios registrados.

2. d Estrategias Metodológicas

Según Buzai (2015) la geografía presenta hoy una renovada tradición cuantitativa, a través del uso de los sistemas de información geográfica (SIGs), la teledetección y los aportes de la teoría de los sistemas complejos, cuyo objetivo es encontrar aquellos aspectos generalizables que pueden ser aplicados a diferentes sistemas en distintas temáticas y escalas. Es por ello que podemos decir que el presente trabajo toma ciertos aspectos de lo que hoy se conoce como geografía aplicada, ya que nos basamos en el análisis espacial cuantitativo del objeto de estudio a partir del uso de los SIGs, con una focalización fuertemente empírica.

Aquí se van a tomar técnicas y métodos de las ciencias biológicas, exactas y sociales entre otras, que van desde la sistematización y clasificación de especies y la utilización de modelos matemáticos hasta el uso de entrevistas semi-estructuradas, observaciones de campo y las posteriores propuestas de ordenamiento territorial. Esta mixtura de técnicas y métodos, se apoyan sobre una metodología de carácter empírico y sistemático, como lo es la: Evaluación Multicriterio (EMC). La EMC es una metodología de aplicación variable e interdisciplinaria, que se entiende como:

“Un conjunto de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, que sirven de soporte a los entes decisorios para describir, seleccionar, evaluar, jerarquizar o

rechazar objetos, sobre la base de una evaluación (expresada en puntuación, valores, o intensidades de preferencia), de acuerdo a varios criterios seleccionados en apoyo a la toma de decisiones” (Barredo, 1996; En: Abarca y Quiroz, 2005:4)

En este sentido, la Evaluación Multicriterio es una técnica que permite evaluar factores de afectación de incendios (criterios) aplicando para cada uno una valoración objetiva (mediciones de campo) o subjetiva (percepciones, observaciones o teorías). La ventaja de los métodos de EMC es que facilitan los procesos participativos y ayudan en la toma de decisiones en presencia de conflictos. Por ello es que resulta importante el trabajo previo de definición de las variables (criterios) que se van a tomar en cuenta para la definición del modelo que se quiera aplicar. En el caso nuestro, se llevó a cabo una extensa búsqueda documental y una serie de entrevistas para poder determinar de la manera más aproximada posible que factores son los que inciden en la generación de los incendios de forma general y buscar esas particularidades para nuestra área de estudio. Además la EMC se suele combinar con otra técnica de carácter empírico, proveniente del área de la psicología y la economía, como lo es el Proceso Analítico Jerárquico, *Analytic Hierarchy Process* (AHP) desarrollado por Thomas Saaty (1978), esta “permite trasladar la realidad percibida por el individuo a una escala de razón en la que se reflejan las prioridades relativas de los elementos considerados” (Moreno-Jimenez et al, 1998:5). El AHP nos va a servir como herramienta para ponderar las variables o criterios seleccionados, ya que entendemos que cada uno posee un peso diferente en cuanto a la concepción de la potencialidad de riesgo que se le asignaron a cada uno.

A partir de esta base, se construyó el modelo cartográfico de riesgo de incendios, el cual no pretende la muestra de pruebas irrefutables acerca de una problemática que lejos está de agotarse en cuanto a su investigación, ya que solo representa una visión parcial de la realidad concebida por el autor en pos de generar materiales y recursos

de ayuda para las instituciones correspondientes y las comunidades locales en el combate contra la problemática de los incendios.

El modelo cartográfico de riesgo de incendios utilizado para el presente trabajo es a su vez una adaptación y simplificación basada en los trabajos de Blas Morato y Nieto Masot (2008), Chuvieco (2008 y 1998) Abarca y Quiroz (2005) y Jaiwal et al (2002). Tal como hemos dicho anteriormente utilizando la Evaluación Multicriterio, nos dispusimos a elaborar y superponer diferentes capas de información (shapes), a un sistema de información geográfico (SIG), cuyos objetivos fueron la elaboración de los mapas de "Riesgo de Ignición"(RI) y "Riesgo de Propagación" (RP) de incendios. Mapas que luego fueron complementados para la elaboración del "Mapa de Riesgo de Incendios de Salsipuedes".

A cada uno de estos objetivos se los estructuro en diferentes capas criterios (llamamos así a cada capa de información necesaria para la elaboración de cada mapa) que además fueron reclasificadas con los valores asignados, en función del tipo asociado de riesgo: bajo, moderado, alto y muy alto, con su correspondiente codificación para un posible manejo matemático de los datos.

Esquema de valores de riesgo utilizados para cada capa criterio

Riesgo de Incendio	Codificación
Muy Alto	4
Alto	3
Moderado	2
Bajo	1
Nulo	0 (Null)

Posteriormente las capas criterios ya finalizadas y clasificadas según el riesgo de cada una, fueron ponderadas mediante la metodología de Evaluación de Jerarquías Analíticas (AHP) antes descriptas y utilizada en los trabajos de Blas Morato y Nieto Massot (2008) y Abarca y Quiroz (2005). En este paso, se realizó la consulta a especialistas en incendios tanto de la comunidad científica, como de la comunidad local, tales como: representantes de la comunidad académica, personal de Defensa Civil Provincial, personal del Plan del Manejo del Fuego (PMF) y a los Bomberos Voluntarios de Salsipuedes, entre otros. Además se utilizó la siguiente escala de valores estándar para esta metodología de ponderación:

Tabla de valores para criterios de ponderación

Importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos elementos contribuyen idénticamente al objetivo
3	Dominancia débil	La experiencia manifiesta que existe una débil dominancia de un elemento sobre otro
5	Fuerte dominancia	La experiencia manifiesta que existe una fuerte dominancia de un elemento sobre otro
7	Demostrada dominancia	La dominancia de un elemento sobre otro es completamente demostrada
9	Absoluta dominancia	Las evidencias demuestran que un elemento es absolutamente dominado por otro
2,4,6,8	Valores intermedios	Son valores intermedios de decisión

Fuente: García et al 2006:109, en base a Saaty (1998).

Luego de ponderadas estas variables, se utilizó una matriz de comparación por pares de criterios, construida a partir de una base de datos Excel, que fue utilizada para saber el algoritmo de ponderación en base a las consultas realizadas y el radio de consistencia (CR). El radio de consistencia es una función que se calculó a partir de valores previamente calculados tales como: algoritmos de ponderación, medición de consistencia, índice de consistencia y el índice aleatorio (este último es un valor estándar que va a corresponder según el número de variables utilizadas). El radio de consistencia a su vez nos permite saber si nuestra ponderación posee un criterio razonable en cuanto a las comparaciones y se entiende que este no debe ser mayor a 0.1 (Saaty 1998, En: García et al 2006). Posteriormente luego de conocer cada algoritmo de ponderación y ser respaldado por el radio de consistencia se procedió a utilizar la herramienta "Calculadora Raster" del SIG, generando un mapa de riesgo para cada objetivo. Este se obtiene a partir de la suma del valor de cada pixel, que a su vez depende de la clasificación antes asignada en cada capa (1-4) y de la multiplicación de cada uno de estos valores por el algoritmo de ponderación calculado. Así el SIG suma mediante pixeles superpuestos a todas las capas en consideración, otorgándonos como resultado el mapa ya finalizado.

2. e Estructura del Modelo de Riesgo de Incendios

Para la elaboración de cada capa criterio, primero se llevó a cabo una búsqueda de antecedentes y una serie de entrevistas para tener en cuenta que información era necesaria para cumplimentar con el objetivo de elaborar un mapa que graficara el riesgo de ignición de incendios y otro para el riesgo de propagación y que sea representativo del área de estudio correspondiente a la localidad de Salsipuedes. Aquí utilizamos como fuentes los trabajos de Argarañaz (2014;2015) para determinar cuáles eran las variables tanto topográficas, humanas, climáticas y de vegetación que había que tomar en consideración para esta zona de las Sierras de Córdoba y el trabajo de

Jaiswal et al (2012) "*Forest fire risk zona mapping from satellite imagery and GIS*", ya que pese a haberse llevado a cabo en un contexto geográfico diferente, utilizaron una metodología similar de solapamiento de capas en un SIG, detallando cada paso hasta la construcción de su mapa de riesgo de incendios. También fue importante la bibliografía y datos estadísticos de la Secretaría de Gestión de Riesgos del Gobierno de la Provincia de Córdoba, que tiene a cargo el Plan de Manejo del Fuego, encargado de elaborar los informes anuales y diarios sobre la situación de riesgo en toda la provincia.

Es por ello, que luego de revisar estos y otros antecedentes y de realizar algunas entrevistas a especialistas en el área, tales como biólogos, ingenieros, geógrafos, personal de bomberos y defensa civil, se pudo determinar cuáles eran las variables más importantes para la construcción de un mapa de riesgo de incendios de la localidad de Salsipuedes. Por último y como parte de los objetivos previamente planteados, se llevó a cabo el mapa de incendios históricos de Salsipuedes en base a la información recolectada, que sirvió de base para la realización de los posteriores mapas de riesgo de incendios.

Variables de riesgo y fuentes utilizadas³

Tipo de Riesgo	Tipo de Factor	Variables/Resolución Espacial y Temporal	Fuentes
IGNICIÓN	Humanos	Distancia de carreteras <i>(Radio pretendido/2015)</i>	Capa vectorial construida a partir de vectores de calles y rutas provistos por la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Salsipuedes.
		Distancia de centros urbanos	Capa vectorial construida a partir de la interpretación visual de

		<i>(Radio pretendido/2015)</i>	imágenes de centros urbanos en Salsipuedes en Google Earth y observaciones en campo.
		Presencia de basurales <i>(Radio oficial/2015)</i>	Capa vectorial construida a partir de la interpretación visual de imágenes de basurales en Salsipuedes mediante Google Earth y observaciones en campo.
	Biológicos	Coberturas combustibles de suelo <i>(Radio pretendido/Periodo mayo a octubre 2013-2015)</i>	Elaboración propia de capas raster utilizando índices NDVI de imágenes LANDSAT OLI (mayo a noviembre 2013-2015) de METI y NASA, información documental (Gravier, 2012 y Argarañaz et al, 2015) e interpretación visual a partir de fotos tomadas en campo (2015).
	Topográficos	Orientación de laderas <i>(Radio pretendido/2003)</i>	Capa raster derivada de DEM ASTER GLOBAL de METI y NASA (2003). Incluye 8 clases: N, NE, E, SE, S, SO, O, NO.
PROPAGACIÓN	Humanos	Cortafuegos: Carreteras <i>(Radio pretendido/2015)</i>	Capa vectorial construida a partir de vectores de calles y rutas provistos la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Salsipuedes.
	Biológicos	Coberturas combustibles de suelo	Elaboración propia de capas raster utilizando índices NDVI de

		(Radio pretendido/Periodo mayo a octubre 2013-2015)	imágenes LANDSAT OLI (mayo a noviembre 2013-2015) de METI y NASA, información documental (Gravier, 2012 y Argarañaz et al, 2015) e interpretación visual a partir de fotos tomadas en campo (2015).
		Cortafuegos: Hidrografía (Radio pretendido/2015)	Capa vectorial de cauces obtenidos del servidor SIG250 del IGN (2013) y actualizados mediante interpretación visual de imágenes Google Earth (2015) y observaciones en campo.
	Topográficos	Pendiente (Radio pretendido/2003)	Capa raster derivada de DEM ASTER GLOBAL de METI y NASA (2003). Valores en porcentajes (0 a 100%)

2. f Resultados: mapa de riesgo de ignición

El riesgo de ignición es aquel potencial de inicio de un incendio y los principales factores considerados en los modelos de riesgo de ignición son según Sarandon et al ,1992 (En: Abarca y Quiroz, 2005:4): la vegetación, la topografía (elevación, pendiente, orientación de las laderas), los antecedentes de ocurrencia, los factores meteorológicos, proximidad a carreteras, caminos, senderos, áreas urbanas y sitios turísticos. A su vez Jaiswal et al (2002) toma como principales variables para su modelo: el tipo de vegetación, urbanizaciones (distancias de centros urbanos), carreteras (distancias de todo tipo de caminos) y pendientes. Argarañaz et al (2015) considera en adición a las anteriores variables, las distancias sobre los basurales, la

densidad poblacional por área y la densidad poblacional en hogares. Entre las variables topográficas considera la altitud (msnm), pendiente (grados), orientación de laderas y la radiación solar (WH/m²) y por último las variables biológicas como las clases de cobertura de los suelos, y diferentes clases de índices de variación fotosintética (NDVI).

Para la elaboración de este objetivo consideramos por medio de la consulta a especialistas y la información disponible a las siguientes variables como nuestras capas criterio: clases de cobertura de suelo (variable biológica), distancias a carreteras, centros urbanos y presencia de basurales (variables humanas) y la orientación de las laderas (variable topográfica). Luego de la elaboración de cada capa criterio se procedió a la ponderación de cada una de ellas por pares de criterios según cada mapa de riesgo. La misma se realizó utilizando la metodología de las Jerarquías Analíticas (Saaty, 1998) antes descripta, a partir de la cual se fueron ponderando y jerarquizando cada una de estas variables en una matriz de comparación por pares de criterios diseñada específicamente para cada mapa de riesgo. Estas se completaron gracias a la colaboración y consejo de los bomberos de la localidad de Salsipuedes, personal de Defensa Civil de la Provincia de Córdoba y miembros de la comunidad académica. A partir de estas opiniones y el criterio propio en base a las fuentes consultadas y las experiencias de campo se construyeron las siguientes matrices de comparación por pares de criterios en base a la metodología AHP para cada mapa de riesgo:

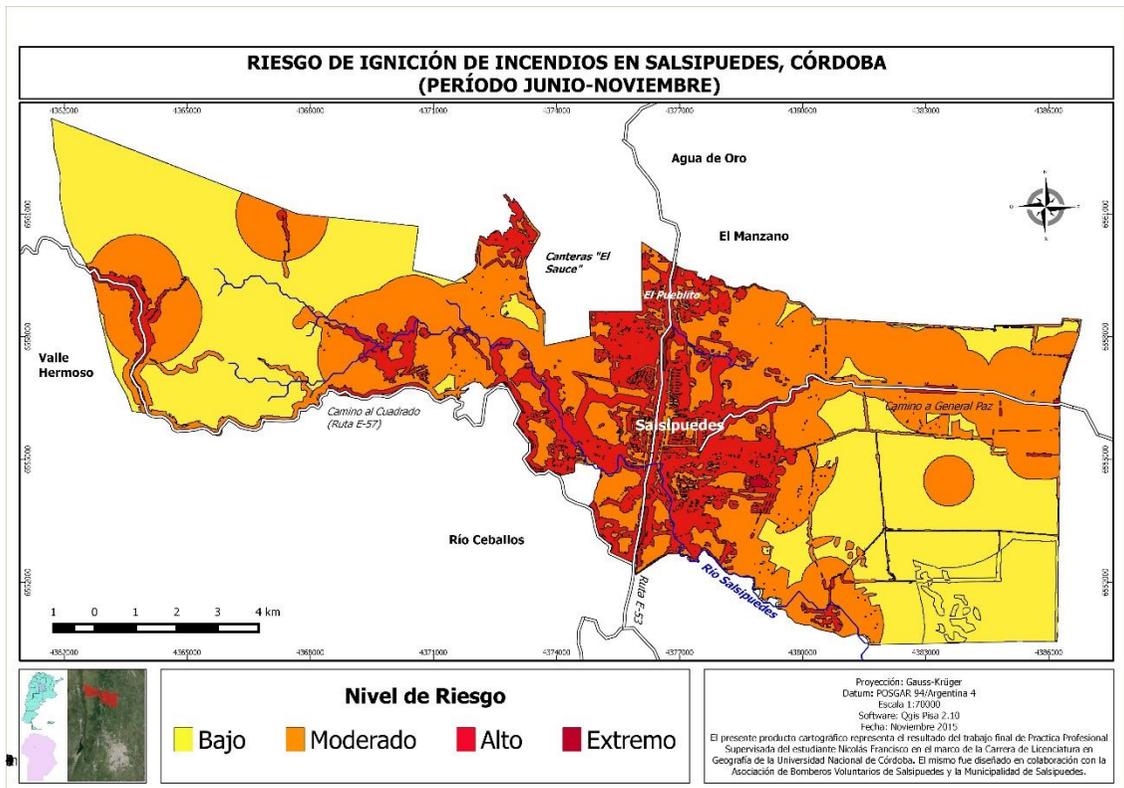
Matriz de ponderación por pares de criterios para riesgo de ignición de incendios

	Cobertura de Combustibles	Proximidad Asentamientos	Proximidad Caminos	Orientación Laderas	Valor Ponderado
<i>Cobertura de Combustibles</i>	1	0.5	0.5	3	0.20

Proximidad Asentamientos	2	1	2	5	0.44
Proximidad Caminos	2	0.5	1	3	0.28
Orientación Laderas	0.3	0.2	0.3	1	0.08

Razón de consistencia: 0.03

Estos valores de ponderación se utilizaron luego para el cálculo de cada variable mediante el uso del SIG, obteniendo el siguiente resultado luego del procesamiento de los datos:

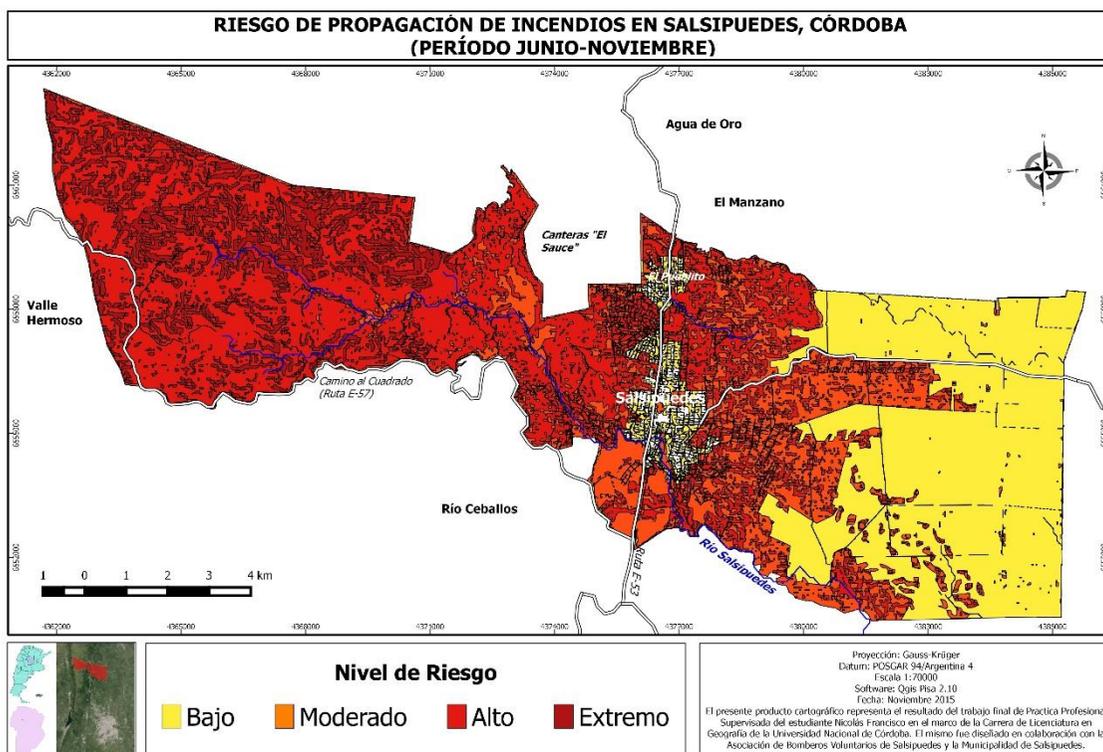


2. g Resultados: mapa de riesgo de propagación

El riesgo de propagación de incendios es aquel potencial de intensidad y velocidad que tiene un incendio para evolucionar en un área determinada según sus características intrínsecas. Para Todd (1979; En: Abarca y Quiroz, 2005) las variables que influyen en el comportamiento de un incendio son: el grado de combustibilidad de la vegetación (tipo de vegetación, cantidad, contenido de agua), la topografía (elevación, pendiente, configuración de valles y orientación de laderas), factores meteorológicos (vientos, humedad relativa, temperatura, pluviosidad). En Blas Morato y Nieto Massot (2008) consideran como variables a los siguientes: factores naturales (combustibles, pendiente, orientación, insolación, altitud, precipitación, temperaturas, NDVI), factores humanos (carreteras) y factores históricos (gravedad).

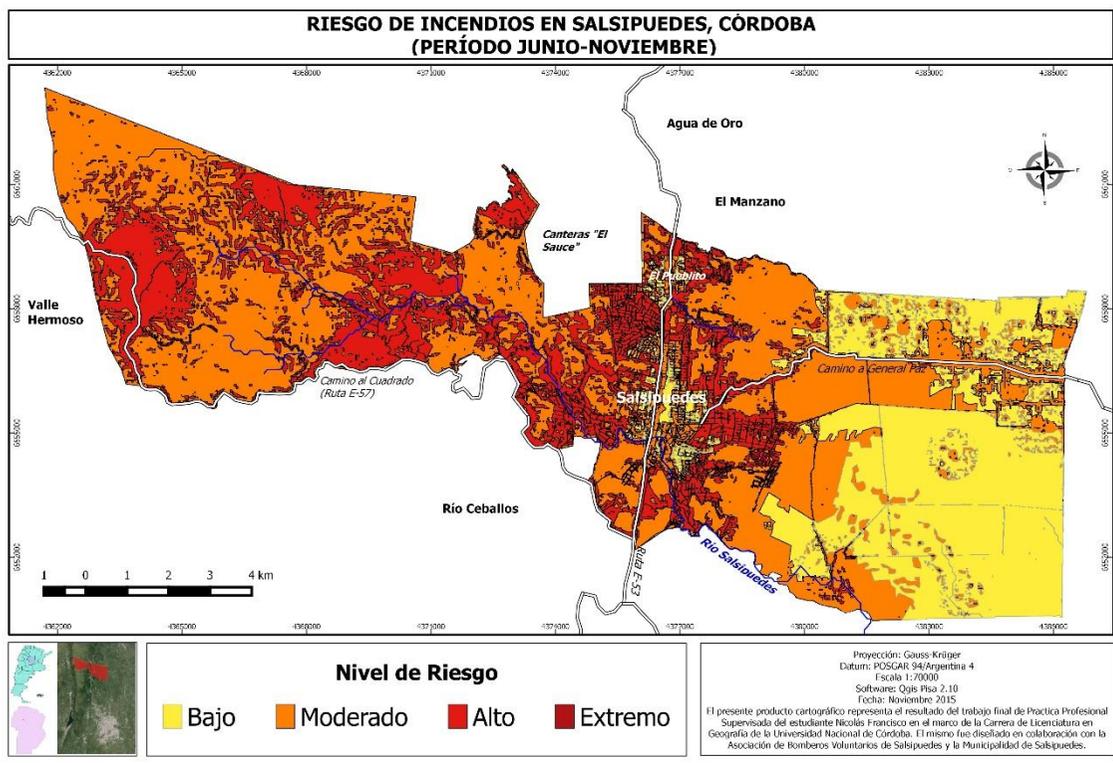
Estos factores inciden en el fuego ya iniciado y al igual que en el anterior objetivo, serán divididos en diferentes capas-criterio. De acuerdo a las fuentes consultadas y a las características propias del área de estudio, las capas-criterio que integran el presente mapa de riesgo fueron: cobertura de combustibles (factor natural) y la pendiente (factor topográfico). A su vez también se trabajó con criterios limitantes: la hidrografía y los caminos, como factores que restringen la propagación de un fuego. La no elección de las variables climáticas-meteorológicas ya fue explicada en el anterior apartado, mientras que para ciertas variables como la altitud y la orientación de las laderas, no encontramos una justificación significativa para su inclusión, por su muy baja incidencia según fuentes consultadas.

A qué también se llevó a cabo una matriz por ponderación de criterios luego de la realización de cada capa criterio, aunque solo se compararon dos variables, ya que los cortafuegos solo eran incluidos en el cálculo final. De esta manera la cobertura de combustibles quedo determinada como la variable de mayor ponderación con un valor de 0.67 y la pendiente con un valor de 0.33, obteniendo luego de procesada la información la siguiente cartografía:



2. h Resultados: mapa de riesgo de incendios

El mapa de riesgo de incendios se llevó a cabo luego de la realización de los mapas anteriores, con lo que por medio del SIG, se llevó a cabo una ponderación igualitaria entre las anteriores: $(Mapa RI * 0.50) + (Mapa RP * 0.50)$. El resultado final fue el siguiente:



3. Conclusiones

Luego de la entrega de la cartografía e información dada por los objetivos, se pensó en conjunto con los Bomberos, Defensa Civil Municipal y Provincial y miembros de la comunidad académica, el aporte que estos productos pueden tener en la prevención y mitigación de los incendios forestales e interfase en Salsipuedes y en Sierras Chicas a futuro. Previamente a la conclusión del proyecto, pensábamos que la generación de una serie de mapas de riesgo, podía darle herramientas a las instituciones, para planificar y diagramar acciones en zonas que estén bajo un riesgo considerable de incendios. Mientras que posteriormente, ya con los resultados a mano, entendimos la potencialidad que tiene la cartografía generada para la gestión del riesgo, tanto por el impacto visual que generan en el público en general como para los usuarios de estos

sistemas. A su vez el uso de los mismos permitió que los bomberos tengan una base de datos actualizada sobre las áreas de riesgo y los registros de incendios de los últimos años con la posibilidad de seguir siendo actualizado de una manera simple. En este punto resultó importante poder llevar a cabo una buena explicación de la estructura del modelo, a partir de la simplicidad que la carga de datos conlleva y de la visualización de los mismos.

También queremos resaltar que la futura incorporación de los mapas de riesgo en la planificación de la gestión de incendios es un compromiso que los bomberos han asumido, así como también, en la evaluación de estos como herramienta. Creemos que estos modelos generados no acabaran con la problemática de los incendios, pero sí que son una herramienta valiosa para el futuro, y una necesidad que los bomberos nos han manifestado en pos de una actualización informática y un avance en la gestión de incendios. Así como también es útil como fuente para la justificación de ciertos tipos de gestiones (pensadas en conjunto con el área municipal) que necesitan de un soporte para ser llevadas a cabo, tales como: la planificación territorial en base a la expansión urbana en áreas de interfase y/o forestales, la apertura de calles y creación de rutas como focos de incendios, la advertencia a la comunidad sobre las áreas de riesgo que habita y la posibilidad de mejorar los accesos a los camiones hidrantes en ciertas zonas de riesgo inaccesibles para estos. Todas estas acciones deben ser llevadas a cabo conjuntamente con las autoridades gubernamentales de Salsipuedes, a las cuales también destacamos por el apoyo al proyecto, tanto a la gestión municipal saliente como a la entrante (2015).

Por ultimo consideramos relevante enmarcar el presente trabajo, como parte de un proyecto más amplio de elaboración de mapas de riesgo múltiples: *"Mapas Dinámicos Participativos de Riesgos Múltiples. Un aporte metodológico para la prevención, mitigación y respuesta en las localidades de Sierras Chicas y zonas de influencia, Córdoba, Argentina"* (perteneciente al grupo de investigación de ciencias de la información geográfica del cual formamos parte), en los cuales, además del riesgo de

incendios, se consideran los riesgos hidrológicos y tecnológicos entre otros. La elaboración en conjunto de todos estos, creemos que producirá un producto de mayor calidad, ya que relacionara múltiples variables de riesgos con posibilidad de integrarse y de elaborar análisis de manera sinérgica junto con las poblaciones locales en base a sus valiosos conocimientos y experiencias. Esa fue la idea original de este trabajo que con el paso del tiempo fue integrando la experiencia de los bomberos y de la comunidad de Salsipuedes con el modelo de riesgo previamente construido. Por el que también nos planteamos a futuro la mejora y aplicación de este modelo a escalas regionales, tales como a todo el corredor de Sierras Chicas para así luego ser integrado al proyecto antes mencionado.

4. Notas

¹ Datos extraídos por Mario Navarro, director del Observatorio Meteorológico de Salsipuedes. Datos de precipitaciones de periodo 1988-2012 y datos de temperaturas del periodo 2002-2010 (En: Argarañaz, 2015:3).

2 Llamamos radio pretendido a aquel que fuera planificado por la Municipalidad de Salsipuedes y consensuado con todas las localidades aledañas, mediante un acuerdo provincial en pos de eliminar las "zonas grises" sin ninguna prestación de servicios y áreas jurisdiccionales municipales o comunales que las abarque. Todos estos se encuentran en periodo de aprobación por parte del Gobierno de la Provincia de Córdoba a la fecha de realización del presente trabajo (2015), por lo que los mismos pueden ser modificados, descartados o aprobados en su delimitación. Este radio se diferencia del radio de servicios, aprobado por ley, que abarca todo el territorio de loteamiento oficial de la Municipalidad de Salsipuedes y la prestación de los servicios básicos.

3 Dentro de las variables antes consideradas de importancia, se encontraban las climáticas, tales como: dirección y velocidad de los vientos, temperaturas, humedad atmosférica, días consecutivos de sequías. Estas mismas no van a ser tenidas en cuentas para el modelo confeccionado por las siguientes razones: disponibilidad de información, ya que el acceso a las variables climáticas de manera precisa y actualizada es limitado por el costo económico (la recolección de datos es privada en la zona) y geográfico, ya que al tener como área de estudio el radio de una localidad, y no una región, no se justifica la toma de datos climáticos diarios, ya que muchos de estos datos son muy

similares a toda la microrregión de Sierras Chicas y centro-norte de la Provincia de Córdoba. A su vez para suplir ese déficit de información, se pensó en complementar los resultados de este trabajo con las alertas de incendios que emite la Provincia de Córdoba, que se basan en variables meteorológicas.

5. Bibliografía

Abarca, Oscar I y Quiroz, José G (2005): "Modelado cartográfico de riesgo de incendios en el parque nacional Henri Pittier. Estudio de caso: Vertiente sur, área colindante con la ciudad de Maracay". *Revista Online Agronomía Tropical* vol.55, n.1, pp. 35-62.

Actis Danna, Rubén et al (2013): "Mapas dinámicos participativos de riesgos múltiples. Un aporte metodológico para la prevención, mitigación y respuesta". *Anales del XIV Encuentro de Geógrafos de América Latina 2013 Perú*.

Argarañaz, Juan Pablo et al (2015): "Human and biophysical drivers of fires in Semiarid Chaco mountains of Central Argentina". *Revista Science of the Total Environment* vol 520, 1 Julio 2015, pp 1-15.

Argarañaz, Juan Pablo et al (2015): "Fire regime, climate and vegetation in the Sierras de Córdoba, Argentina". *Revista Fire Ecology* vol 11, issue 1, 2015, pp 55-69.

Argarañaz, Juan Pablo et al (2015): "Mapeo y evaluación del riesgo de incendios en la interfase urbano-rural de las Sierras de Córdoba". *V Jornadas y II Congreso Argentino de Ecología de Paisajes, Azul, Buenos Aires, Argentina*.

Batista, Antonio y Biondi, Daniela (2009): "Avaliação da inflamabilidade de *Ligustrum lucidum* Aiton (Oleaceae) para uso potencial em cortinas de segurança na região sul do Brasil". *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* vol. 4, n4, pp 435-439.

Blas Morato, Rocío y Nieto Masot, Ana (2008): "Mapa de riesgos de incendios forestales de la provincia de Cáceres". En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 488-501.

Buzai, Eduardo et al (2015): "*Teoría y métodos de la geografía cuantitativa*", MCA libros, libro digital, Buenos Aires.

Buzai, Eduardo (2013): "*Sistemas de Información Geográfica (SIG): Teoría y Aplicación*". 1ra Ed, Lujan: Universidad de Lujan.

Chuvieco, Emilio (2009): "Detección y análisis de incendios forestales a través de imágenes satelitales y teledetección". *Revista Real Acad.Cienc.Exact.Fis.Nat (Esp)* vol. 103, Nº. 1, pp 173-181. X Programa de Promoción de la Cultura Científica y Tecnológica.

Chuvieco, Emilio et al (2008): Propuesta de un sistema espacialmente explícito para evaluar el peligro de incendios". *Revista Serie Geográfica*, Numero 14, 2007-2008, pp 109-130.

Chuvieco, Emilio et al (1998): "Geografía e incendios forestales". *Revista Serie Geográfica*, Volumen 7, pp. 11-17.

Chuvieco, Emilio (1995): "*Fundamentos de teledetección espacial. Segunda edición*". Editorial RIAP, Madrid.

García, Jorge Luis et al (2006): "Aplicación del proceso de jerarquía analítica en la selección de tecnología agrícola". *Revista Agronomía costarricense*, vol 30, pp 107-114.

Giorgis, Melisa (2011): "'Caracterización florística y estructural del Bosque Chaqueño Serrano (Córdoba) en relación a gradientes ambientales y de uso". Tesis de Doctorado en Ciencia Biológicas. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

Jaiswal, Rajeev Kumar et al (2002): "Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 4. *Revista Elsevier Science*.

Lavell, Allan (2010): "Gestión Ambiental y Gestión del Riesgo de Desastre en el Contexto del Cambio Climático: Una Aproximación al Desarrollo de un Concepto y Definición Integral para Dirigir la Intervención a través de un Plan Nacional de Desarrollo". Departamento Nacional de Planeación-DNP, Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible

Lavell, Allan (2001): "Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición". *Revista Scripta Nova*

Montilla, Arismar Marcano y Rios, Scarlet Cartaya (2010): "La gestión de riesgos de desastres naturales y el uso de los sistemas de información geográfica (SIG): algunas consideraciones", *Revista Universitaria Arbitrada de Investigación y Dialogo Académico* vol 6, Nº 3.

Moreno Jimenez, Jose María et al (1998): "Validez, Robustez y Estabilidad en Decisión Multicriterio. Análisis de Sensibilidad en el Proceso Analítico Jerárquico". *Revista R. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat* vol. 92, N.o 4, pp 387-397.

PPMF (2007): "Guía Para La Prevención De Incendios Forestales en Córdoba". Gobierno de la Provincia de Córdoba, Secretaría de Ambiente".

Quiroga, Luis Gonzalo (2015): "Implementación de un índice de posibilidad de incendio para las Sierras de Córdoba". Trabajo final presentado ante la Facultad de Matemática, Astronomía y Física y

el Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich como parte de los requerimientos para la obtención del grado de "Magister en aplicaciones espaciales de alerta y respuesta temprano a emergencias". CONAE/UNC.

Saaty, Tomas (1998): "*Método Analítico Jerárquico (AHP): Principios Básicos*". En: Evaluación y Decisión Multicriterio. Reflexiones y Experiencias, ed. Por Eduardo Martinez y Mauricio Escudey, Editorial Universidad de Santiago, pp. 17-46.

Valpreda, Edda Claudia (2007): "Sistema de Información Geográfica (SIG)-Teledetección y Evaluación Multicriterio (EMC) en un Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)". Instituto de Cartografía, Investigación y Formación para el Ordenamiento Territorial (CIFOT), Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo.

Zalazar, Laura (2014): "Herramientas geoespaciales para la gestión del riesgo de incendios en el Parque Nacional Quebrada del Condorito". Trabajo final presentado ante la Facultad de Matemática, Astronomía y Física y el Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich como parte de los requerimientos para la obtención del grado de "Magister en aplicaciones espaciales de alerta y respuesta temprano a emergencias", CONAE/UNC.