



**Universidad
Nacional
Villa María**

Biblioteca Central "Vicerrector Ricardo A. Podestá"
Repositorio Institucional

Evaluación de geoindicadores espectrales temporales de los eventos de incendios de interfase del 2009 y 2020 en el área de influencia de Achiras, Córdoba, Argentina

Año
2023

Autora
Torres, Rocío Magalí

Directoras de tesis
Rodríguez, María Jimena y Ledesma, María
Micaela

Este documento está disponible para su consulta y descarga en el portal on line de la Biblioteca Central "Vicerrector Ricardo Alberto Podestá", en el Repositorio Institucional de la **Universidad Nacional de Villa María**.

CITA SUGERIDA

Torres, R. M. (2023). *Evaluación de geoindicadores espectrales temporales de los eventos de incendios de interfase del 2009 y 2020 en el área de influencia de Achiras, Córdoba, Argentina* [Tesis de grado, Universidad Nacional Villa María]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Villa María.

http://biblio.unvm.edu.ar/opac_css/index.php?lvl=cmspage&pageid=9&id_notice=45003



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional

Universidad Nacional de Villa María

Instituto A. P. Ciencias Básicas y Aplicadas

Trabajo Final de Grado para optar el título de Licenciada en
Ambiente y Energías Renovables

**Evaluación de geoindicadores espectrales
temporales de los eventos de incendios de
interfase del 2009 y 2020 en el área de
influencia de Achiras, Córdoba, Argentina**

AUTORA

Rocío Magalí Torres

Villa María- Córdoba

Marzo 2023

**EVALUACIÓN DE GEOINDICADORES
ESPECTRALES TEMPORALES DE LOS
EVENTOS DE INCENDIOS DE INTERFASE DEL
2009 Y 2020 EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE
ACHIRAS, CÓRDOBA, ARGENTINA**

Universidad Nacional de Villa María

Instituto A. P. Ciencias Básicas y Aplicadas

Título del Trabajo Final de Grado: EVALUACIÓN DE
GEOINDICADORES ESPECTRALES TEMPORALES DE LOS
EVENTOS DE INCENDIOS DE INTERFASE DEL 2009 Y 2020 EN EL
ÁREA DE INFLUENCIA DE ACHIRAS, CÓRDOBA, ARGENTINA

Autora: Rocío Magalí Torres

Directora: Dra. María Jimena Rodriguez

Co-Directora: Ing. Agr. María Micaela Ledesma

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Tribunal evaluador (Art. N°15, Res. N° 48/2000 del Consejo Superior)

_____ Nombre y apellido	_____ Firma
_____ Nombre y apellido	_____ Firma
_____ Nombre y apellido	_____ Firma

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Asesor (Art. N° 2, Res. 77/2006 del Consejo Directivo IAP de Ciencias Básicas y Aplicadas)

_____ Nombre y apellido	_____ Firma
----------------------------	----------------

Fecha y lugar de aprobación:

**Universidad Nacional de Villa María
Instituto A.P. Ciencias Básicas y Aplicadas**

**Trabajo Final de Grado para optar al título de
Licenciatura en Ambiente y Energías Renovables**

**Evaluación de geoindicadores espectrales
temporales de los eventos de incendios de
interfase del 2009 y 2020 en el área de
influencia de Achiras, Córdoba, Argentina**

AUTORA

Rocío Magalí Torres

DIRECTORA

Dra. María Jimena Rodriguez

CO-DIRECTORA

Ing. Agrónoma María Micaela Ledesma

Villa María- Córdoba

Marzo 2023

DEDICATORIA

Con todo mi corazón a mis padres, Gladys y Hugo. Por su amor y entrega a mi enseñanza y formación como persona y profesional. Por su paciencia y escucha en cada situación, por su acompañamiento, por festejar mis logros y estar ahí ante cualquier tropiezo. Por haber sentado en mi las bases de responsabilidad y superación. Por haberme permitido estudiar lo que amo y ayudarme a lograrlo. Porque gracias a ellos soy la persona que soy y porque sin ellos nada de esto hubiese sido posible.

A mis hermanos Gisela y Javier y a mis sobrinos Bautista y Pilar, por haberme enseñado a creer siempre en mí. Les agradezco por haber sido comprensible conmigo, por entender mi ausencia en las fechas importantes, como así también mis largas horas de estudio. Por festejar mis logros y alegrarse de los mismo.

A mi padrino Eric que le hubiese encantado estar presente en esta finalización de etapa. Le agradezco por haberme enseñado sobre el cuidado del ambiente y la importancia que tiene cada una de nuestras acciones sobre él.

A mi pareja y mejor amigo, Sergio, por entenderme, animarme y apoyarme. Por su escucha y por acompañarme siempre con un mate y una palabra de motivación. Por haber estado presente en esta finalización de etapa motivándome y acompañándome, soñando juntos con este anhelado y ansioso momento, ¡Gracias amor!.

A todos mis familiares y amigos, por estar presentes a lo largo de este emocionante y reconfortante camino.

AGRADECIMIENTOS

No hubiese sido posible la realización de este Trabajo Final de Grado sin la colaboración y acompañamiento de muchas personas, pero entre todas ellas me gustaría destacar algunas. En un principio a mis directoras María Jimena Rodríguez y Micaela Ledesma que siempre estuvieron al pendiente de mis avances, dudas y dispuestas a explicarme, ayudarme y brindarme su tiempo, conocimientos y vocación. Les agradezco por su preocupación, su paciencia y el interés que le pusieron a la temática. A Analía Becker, por su seguimiento constante a mi TFG, por sus consejos desde su conocimiento y trayectoria, por su escucha y acompañamiento a lo largo de este último trayecto. A Fernando Forgioni, por haberme brindado datos climáticos y haberme ayudado desde su área con la interpretación de los mismos. A los bomberos de la localidad de Achiras, por haber estado siempre dispuestos a explicarme desde su experiencia, gran trayectoria y conocimiento sobre el área. Les agradezco por haberme brindado material, responder entrevistas, y enseñarme desde el corazón como se siente ser parte del pueblo y héroes al mismo tiempo. A Jorge Otamendi, ex bombero de la localidad, por haberse tomado el tiempo de manera desinteresada de compartir material acerca de los incendios, por haber respondido mis dudas y haberme guiado para el análisis de los eventos de incendio. A Oscar "Chima" Ceballos, de la localidad de Achiras por haberme brindado sus hermosos textos y haberme acercado a los testimonios de la población acerca de lo ocurrido. A la localidad de Achiras, por sus respuestas a mis preguntas y por acercarme a sus sentires.

Por otro lado, no hubiese sido posible mi trayecto universitario sin la presencia de muchas personas, debido a eso no quiero dejar de expresar mi gratitud: A la Institución educativa Universidad Nacional de Villa María, por su calidez humana y por hacernos sentir parte de la institución desde el momento en que entramos; a los docentes, directivos y mi tribunal evaluador de mi Trabajo Final de Grado de la Licenciatura en Ambiente y Energías Renovables, por haberme formado a lo largo de todos estos años. A la secretaria de Bienestar de la Universidad Nacional de Villa María, por brindarme las residencias universitarias, un lugar que se convirtió en un hogar durante cinco años gracias al acompañamiento de todos quienes hacen la Secretaria de Bienestar. A mis compañeros convivientes de las residencias, que siempre me empujaron a lograr mis objetivos, a no bajar los brazos y hacer más pasable el hecho de estar lejos de casa, entre ellos destacar a mi amiga Evelyn. A mis compañeros y amigos de la carrera, que fueron mi grupo de estudio, de escucha, de juntadas, de salidas, de abrazos, de mates, risas y llantos, personas que voy a llevar siempre conmigo: Ana, Michelle, María, Victoria, Florencia, Mariano, Christian, Octavio, Nicolás, Francisco, Gabriel y Tomás. A toda la comunidad de la UNVM que siempre estuvo presente y atenta a lo que necesitara. Por último y no menos importante, le doy las gracias a Dios, por darme las fuerzas necesarias en cada momento y situación y por cada persona que puso en mi vida a lo largo de este hermoso camino.

Luna, cenizas y Achiras

La luna mira las sierras
Después que pasó el incendio
Y le queda su ojo ardiendo
De solo pensar en fuego
Hay un chicote en el aire
Al que lo agita un vecino
Y cuerpeándole a las llamas
Anda trenzado un bombero
Que tal vez vino de lejos
Y se mezcló con los nuestros
Y va jugando su vida
Por entre el humo y el fuego
La luna mira el tiznado
Que hay a la orilla del pueblo
Después que pasó el incendio
Y le caen nubes negras
Sobre el árbol y las piedras
Y la ausencia de las aves
A chorros pasa el silencio
Sin saber si va o si vuelve
Chamuscado el corazón
Entre la luna y la loma
Encuentra plantas de Achiras
Que en busca de luz asoman.

Oscar Chima Ceballos de Achiras. 7 oct 2020

ÍNDICE

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
2.1. Estudio Geoambiental	2
2. 1.1 Controles Top-down y Bottom-up	2
2.2. Conceptualización de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgos Ambientales	3
2.3. Incendio forestal y de interfase	4
2.4. Sistema de Información Geográfica	4
2.5. Geoindicadores de Estado	5
2.5.1 Geoindicadores espectrales temporales	6
3. OBJETIVOS	8
3.1. Objetivo General	8
3.2. Objetivos Específicos	8
4. MATERIALES Y MÉTODOS	9
4.1. Ubicación del área de estudio	9
4.2. Clima	9
4.3. Provincia biogeográfica	11
4.4. Provincia geológica, geomorfología y cuenca hidrogeológica	12
4.5. Uso y manejo del territorio	13
Historia y turismo de Achiras	13
Actividad agropecuaria	15
Innovación Energética	15
Problemáticas Socioambientales	16
4.6. Análisis de las características geoambientales del área de estudio	16
4.6.1 Factor Climático	16
4.6.2 Factor Geopedológico	17
4.6.3 Factor Vegetación	17
4.6.4 Factor Socioambiental	17
4.7. Selección y análisis de geoindicadores de estado	17

NBR: Índice Normalizado de Área Quemada	18
NDVI: Índice de vegetación de diferencia normalizada	19
4.8. Construcción de un mapa geoambiental para la integración de los resultados obtenidos	19
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
5.1. Análisis de las características geoambientales del área de estudio	22
5.1.1. Controles Top-down	22
Factor Climático	22
5.1.2. Controles Bottom-up	27
Factor Geopedológico	27
Factor Vegetación	30
5.1.3 Factor Socioambiental	31
5.2. Análisis de los geindicadores de estado y construcción de mapas	33
5.3. Análisis de información y entrevistas a los Bomberos	44
6. CONCLUSIONES	48
7. CONSIDERACIONES FINALES	49
8. BIBLIOGRAFÍA	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Ubicación del área de estudio.

Figura 2: Precipitación media anual (mm) en la provincia de Córdoba, Serie 1961-1990.

Figura 3: Distribución de las temperaturas medias (°C) en la provincia de Córdoba, Serie 1961-1990.

Figura 4: Biogeografía del área de estudio.

Figura 5: Información de las imágenes satelitales tomadas para el análisis.

Figura 6: Climograma localidad de Achiras, Córdoba Argentina.

Figura 7: Curva Cronológica anual de precipitaciones del periodo 1974 - 2021 de la estación Agrometeorológica UNRC.

Figura 8: Temperaturas máximas del periodo 1981-2021 de la estación meteorológica Rio Cuarto Aero.

Figura 9: Distribución de velocidades medias mensuales de vientos. Período 1974- 2021.

Figura 10: Rosa de los vientos, distribución de direcciones predominantes. Período 1974- 2021.

Figura 11: Composición del suelo de la localidad de Achiras, Córdoba.

Figura 12: Composición del suelo afectado post incendio de 2009 en la localidad de Achiras, Córdoba.

Figura 13: Composición del suelo afectado post incendio de 2020 en la localidad de Achiras, Córdoba.

Figura 14: Vegetación típica de la Provincia Comechingones, pastizal de Festuca hieronymi (Poaceae), Alpa Corral, Córdoba, Argentina.

Figura 15: Índice de NBR aplicado sobre el incendio del 2009 en Achiras, Córdoba.

Figura 16: Histograma correspondiente al índice de NBR aplicado antes del incendio del 2009.

Figura 17: Histograma correspondiente al índice de NBR aplicado después del incendio del 2009.

Figura 18: Índice de NBR aplicado sobre el incendio del 2020 en Achiras, Córdoba.

Figura 19: Histograma correspondiente al índice de NBR aplicado antes del incendio del 2020.

Figura 20: Histograma correspondiente al índice de NBR aplicado después del incendio del 2020.

Figura 21: Diferencia de NBR aplicado sobre el incendio del 2009 en Achiras, Córdoba.

Figura 22: Diferencia de NBR aplicado sobre el incendio del 2020 en Achiras, Córdoba.

Figura 23: Índice de NDVI aplicado sobre el incendio del 2009 en Achiras, Córdoba.

Figura 24: Histograma correspondiente al índice de NDVI aplicado antes del incendio del 2009.

Figura 25: Histograma correspondiente al índice de NDVI aplicado después del incendio del 2009.

Figura 26: Índice de NDVI aplicado sobre el incendio del 2020 en Achiras, Córdoba.

Figura 27: Histograma correspondiente al índice de NDVI aplicado antes del incendio del 2020.

Figura 28: Histograma correspondiente al índice de NDVI aplicado después del incendio del 2020.

Figura 29: Diferencia de NDVI aplicado sobre el incendio del 2009 en Achiras, Córdoba.

Figura 30: Diferencia de NDVI aplicado sobre el incendio del 2020 en Achiras, Córdoba.

Figura 31: Recorrido del incendio del 2009.

Figura 32: Material Combustible Incendio 2009.

Figura 33: Incendio del 2009.

Figura 34: Imagen del área quemada en la localidad de Achiras, Incendio 2009.

Figura 35: Imagen del incendio 2009 en el área urbana de la localidad.

Figura 36: Imagen del incendio del 2009 en el balneario Achiras.

Figura 37: Imagen del incendio 2009 con bomberos trabajando.

Figura 38: Imagen del incendio del 2009 sobre la fauna local.

EVALUACIÓN DE GEOINDICADORES ESPECTRALES TEMPORALES DE LOS EVENTOS DE INCENDIOS DE INTERFASE DEL 2009 Y 2020 EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE ACHIRAS, CÓRDOBA, ARGENTINA

Autora: Rocío Magali Torres

Directora: Dra. María Jimena Rodríguez

Co-Directora: Ing. Agr. María Micaela Ledesma

RESUMEN

El fuego es un evento natural que cumple un rol fundamental como modelador del paisaje. Sin embargo, en la actualidad los regímenes de fuego se encuentran altamente influenciados por las actividades humanas. El resultado de esta influencia se manifiesta en cambios en la frecuencia, severidad, distribución del fuego en el paisaje, número de igniciones y disponibilidad de combustible, entre otras. En las últimas décadas, en la localidad de Achiras, Córdoba, Argentina, el fuego es un factor repetido que incide y provoca cambios en el área, convirtiéndose en un modificador del ecosistema donde se produce y afecta tanto a la biomasa vegetal como al suelo, hidrósfera y atmósfera. Por ello se considera imprescindible evaluar geoindicadores espectrales temporales de los eventos de incendios, con la finalidad de determinar el estado de los recursos naturales de vegetación y suelo pre y post incendio. En el presente trabajo se evaluaron geoindicadores espectrales temporales de los eventos de incendios de interfase del 2009 y 2020 en el área de influencia de Achiras a partir de las imágenes de satélite Landsat 7 del United States Geological Survey (USGS) mediante QGIS versión 3.22.1, donde se analizaron los indicadores Tasa de Quema Normalizada (NBR) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) pre y post incendios de ambos eventos. Los resultados obtenidos permitieron identificar una mayor severidad en el incendio del 2009 en el área de estudio, como así también una mayor afección sobre la interfaz urbano-rural, mientras que el incendio del 2020 no llegó a afectar de la misma magnitud la zona de interfaz. Esto fue posible evitar no tan solo por el accionar de los bomberos, sino también que se logró observar una menor presencia de material combustible en el área en 2020 que en 2009. Los sensores remotos y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas fundamentales para abordar estudios relacionados a la ecología del fuego y para evaluar el riesgo de incendio, debido principalmente a que brindan la posibilidad de monitorear sistemáticamente la superficie terrestre y así conocer el estado de la vegetación y detectar los cambios que ocurren luego de un incendio. Además, los SIG permiten manejar e integrar múltiples variables espaciales, facilitando la identificación de los factores ambientales que determinan los patrones de ocurrencia de incendios.

Palabras claves: Incendios; teledetección; NDVI; NBR; SIG.

EVALUATION OF TEMPORAL SPECTRAL GEOINDICATORS OF THE 2009 AND 2020 INTERFACE FIRE EVENTS IN THE AREA OF INFLUENCE OF ACHIRAS, CÓRDOBA, ARGENTINA

Author: Rocío Magali Torres

Directora: Dra. María Jimena Rodriguez

Co-Directora: Ing. Agr. María Micaela Ledesma

ABSTRACT

Fire is a natural event that plays a fundamental role in shaping the landscape. However, fire regimes are currently highly influenced by human activities. The result of this influence is manifested in changes in the frequency, severity, distribution of fire in the landscape, number of ignitions and fuel availability, among others. In recent decades, in the town of Achiras, Córdoba, Argentina, fire is a repeated factor that influences and causes changes in the area, becoming a modifier of the ecosystem where it occurs and affects both the plant biomass and the soil, hydrosphere and atmosphere. Therefore, it is considered essential to evaluate temporal spectral geoindicators of fire events, in order to determine the state of the natural resources of vegetation and soil pre and post fire. In the present work, temporal spectral geoindicators of the 2009 and 2020 interface fire events in the Achiras area of influence were evaluated from Landsat 7 satellite images of the United States Geological Survey (USGS) using QGIS version 3.22.1, where the Normalized Burning Rate (NBR) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) indicators were analyzed pre and post fires of both events. The results obtained allowed us to identify a greater severity in the 2009 fire in the study area, as well as a greater effect on the urban-rural interface, while the 2020 fire did not affect the interface zone to the same extent. This was possible to avoid not only because of the actions of the firefighters, but also because there was less combustible material in the area in 2020 than in 2009. Remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) are fundamental tools to address studies related to fire ecology and to assess fire risk, mainly because they provide the possibility to systematically monitor the land surface and thus know the state of vegetation and detect changes that occur after a fire. In addition, GIS allow the management and integration of multiple spatial variables, facilitating the identification of environmental factors that determine fire occurrence patterns.

Keywords: Fire; remote sensing; NDVI; NBR; GIS.

1. INTRODUCCIÓN

Las tendencias de la Gran Aceleración, que comienza a mediados del siglo XX, proporcionan una visión dinámica del acoplamiento emergente a escala planetaria, a través de la globalización, entre el sistema socioeconómico y el biofísico de la Tierra. Se ha alcanzado un punto donde muchos indicadores biofísicos claramente se han movido más allá de los límites de la variabilidad del Holoceno. Es decir, el estado y funcionamiento del Sistema Tierra estarían más impulsados por las actividades humanas y no tanto por la variabilidad de los procesos naturales (Steffen et. al, 2015).

El fuego es un fenómeno natural que aparece en los registros geológicos poco después de la aparición de las plantas terrestres; influye en los patrones y procesos de los ecosistemas de todo el mundo, incluyendo la distribución y estructura de la vegetación, el suelo, el ciclo del carbono y el clima (Bowman et. al, 2009).

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 (Argañaraz et. al, 2015).

En Argentina, las estadísticas oficiales indican que los incendios afectan un promedio de 870 mil hectáreas anualmente, generando pérdidas significativas de recursos naturales, así como de vidas humanas. A pesar de las notables mejoras en el monitoreo de incendios en los últimos años, muchas veces existen problemas para cubrir la totalidad de las áreas afectadas; por este motivo, el uso de información satelital ofrece una gran oportunidad para abordar el tema a escala regional, de una forma objetiva y periódica (Pinilla Vargas, 2012).

En la Provincia de Córdoba entre 1999 y 2020 se quemaron más de 700.000 ha en el sector serrano, donde se advierte la presencia de un gran incendio en el año 2009, en el área circundante de la localidad de Achiras. Es frecuente que en la estación seca en las Sierras de Comechingones se produzcan incendios, los cuales han llegado a amenazar a la población y provocar cambios o destrucción de flora y fauna. En las últimas décadas, en el área de influencia de la localidad de Achiras, el fuego es un factor repetido que incide y provoca cambios en la cobertura vegetal autóctona. De esta manera, se constituye como un modificador del ecosistema donde se produce y afecta tanto a la biomasa vegetal como al suelo, hidrósfera y atmósfera. Las acciones antrópicas irresponsables o intencionales han llevado al incremento de efectos no deseados como los incendios (Grandis et. al, 2014).

La ocurrencia de los incendios en el área de influencia de Achiras, Córdoba (Argentina) hace imprescindible evaluar geoindicadores espectrales temporales de los eventos de incendios de interfase del 2009 y 2020. Este análisis permitirá determinar el estado de los recursos naturales de vegetación y suelo pre y post incendio de interfase en el área de influencia.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Estudio Geoambiental

Para poder comprender el concepto de Estudio Geoambiental, es necesario entender a qué se refiere cuando se habla de “geoambiental”. Tomando como referencia a Hunosa et. al (2016) en la Normativa para la Elaboración de Estudios Geoambientales del SEGEMAR se engloba el concepto de geoambiental como la relación entre los recursos naturales y la sociedad; entendiendo a los recursos naturales como formaciones y estructuras geológicas, formas de terreno, rocas, agua, aire, vegetación y fauna. Teniendo en cuenta lo expresado y de acuerdo con Cervantes Guerra (2016), el análisis geoambiental se basa, en reconocer y describir formas y procesos de continua transformación del planeta, estudiar las relaciones de causa-efecto de los procesos actuales en el medio físico por las actividades humanas, siendo el ser humano un agente de transformación, así como intervenir y formar parte de instrumentos de gestión ambiental preliminar del territorio.

También es considerable tener en cuenta el concepto de medio ambiente que toma la Normativa para la Elaboración de Estudios Geoambientales del SEGEMAR a través de Hunosa et. al (2016), comprendiendo a este como un sistema interrelacional constituido por el medio físico, el medio biológico y el socioeconómico. Conocerlo permite obtener una visión clara de las características, modelo de funcionamiento y el estado pre y post incendio. De esta manera se busca obtener un conocimiento de los procesos modificadores del medio y lo que le pudiera ocasionar algún daño. Esto permite tomar decisiones sobre las medidas más adecuadas para la mitigación de un daño causado en el mismo. Es decir, que el Estudio Geoambiental tiene por finalidad ser un instrumento de decisión sobre el territorio, con el objetivo de obtener el conocimiento suficiente del medio físico, biológico y socioeconómico de la zona objeto de estudio con el fin de determinar los procesos que han dado lugar al escenario actual, así como los que se están produciendo en la actualidad, y la probabilidad de ocurrencia en el futuro.

2. 1.1 Controles Top-down y Bottom-up

De acuerdo con Landi (2018), los incendios son disturbios que poseen una fuerte variación espacial y temporal. El patrón de distribución espacial de la inflamabilidad de la vegetación, como así también, de la cantidad de incendios y de la superficie quemada está determinado por el efecto y la interacción de controles top-down y bottom-up característicos de cada ecosistema. Los controles **top-down** hacen referencia a las condiciones como la temperatura, humedad ambiente, precipitaciones y vientos. En el corto plazo, el estado de humedad de la atmósfera, la temperatura y el viento determinan principalmente el estado de humedad del material combustible. Los controles **bottom-up** hacen referencia a las características físicas del medio sobre el que se propaga el fuego, como la topografía y las propiedades estructurales y funcionales de cada una de las cubiertas vegetales.

2.2. Conceptualización de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgos Ambientales

De acuerdo con Cardona (1993), se define un desastre como aquel evento o suceso que ocurre de manera repentina e inesperada, causando alteraciones intensas que se evidencian en la salud y pérdidas de vida, como de la población, destrucción o pérdida de los bienes y/o daños severos sobre el medio ambiente. Es así como fenómenos naturales o posibles eventos desastrosos provocados por el hombre, pueden considerarse como una amenaza para el desarrollo social y económico de una región o país.

Los desastres pueden ser causados por un fenómeno natural, provocado por el hombre o ser consecuencia de una falla. Según esta clasificación, Cardona (1993) menciona a los incendios forestales como desastres de origen antrópico, ya que pueden ser originados intencionalmente por el hombre o por una falla de carácter técnico. Según Lavell (2001), los incendios pueden considerarse como amenazas Socio-Naturales, debido a que estos se caracterizan por manifestarse como fenómenos de “carácter natural”, pero la acción humana es la que condiciona la frecuencia de estos fenómenos. En relación a esto, Otterstrom et. al, (2006) (como se citó en Vargas et. al, 2018) establecen que la mayoría de los incendios forestales en los bosques secos están vinculados a los incendios establecidos intencionalmente por los agricultores para preparar los campos agrícolas o realizar el mantenimiento de los pastos.

Por otra parte, Lavell (2001) afirma que la existencia de riesgo (como el riesgo de incendio), y sus características particulares, se explica por la presencia de los factores de riesgo: Amenaza y Vulnerabilidad. Entendiéndose a la “amenaza” como la posibilidad de la ocurrencia de un evento físico que puede causar algún tipo de daño a la sociedad. Y a la “vulnerabilidad” como una serie de características diferenciadas de la sociedad, o subconjuntos de esta, que le predisponen a sufrir daños frente al impacto de un evento físico externo. En este contexto, el término riesgo “*risk*” tiene dos diferentes significados desde el punto de vista del *Global Assessment Report*, por una parte, es el sinónimo de probabilidad de un efecto potencialmente dañino como también significa la expectativa matemática de que una consecuencia indeseada ocurra (GAR, 2019).

Tomando el concepto de vulnerabilidad entendida como la susceptibilidad a sufrir daños según las características del medio, Vargas et. al, (2018) señalan que la extensión y capacidad de propagación de los incendios forestales dependen en gran medida de la cantidad de combustible y de la humedad que contiene dicho combustible. Es decir que, a mayor concentración de combustible y menos humedad, mayor será la vulnerabilidad del ambiente a sufrir el riesgo de incendio.

Es importante tener en cuenta que el suceso en sí no es un riesgo; más bien un proceso natural se convierte en un riesgo cuando amenaza los intereses humanos. Un desastre, es el efecto de un riesgo en la sociedad, normalmente en forma de un suceso o daño que ocurre en un periodo de tiempo limitado y en una zona geográfica definida, mientras que la catástrofe es un desastre masivo que requiere un gasto considerable de tiempo y dinero para la recuperación (Keller y Blodgett, 2004).

Conci (2018) expresa que el riesgo se obtiene de relacionar la amenaza, o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de una intensidad específica, con la vulnerabilidad de los elementos

expuestos, por lo que puede ser de carácter geológico, hidrológico, atmosférico o, también, tecnológico, dependiendo de la naturaleza de la amenaza a la cual está referido. Para evaluar el riesgo deben seguirse tres pasos: la evaluación de la amenaza o peligro, el análisis de la vulnerabilidad y la estimación del riesgo como resultado de relacionar los dos parámetros anteriores.

2.3. Incendio forestal y de interfase

El fuego es uno de los principales agentes de disturbios y representa uno de los mayores modeladores del paisaje, afectando la composición de especies, la estructura de la vegetación y los procesos ambientales. Los efectos del fuego sobre los ecosistemas dependen del régimen de incendios, el mismo se define por la frecuencia, intensidad, severidad, superficie afectada, estacionalidad y patrón espacial de la ocurrencia de incendios (Argañaraz, 2016).

Por otra parte, Grandis *et al.*, (2014) define a un incendio como aquel fuego que se propaga sin poder ser controlado sobre un ecosistema y que tal fenómeno no ha sido deseado, por lo tanto, el objetivo principal es extinguirlo. El fuego sin control se constituye en una amenaza tanto para las personas y sus bienes materiales expuestos al evento extremo, como para el ambiente y los recursos naturales que lo conforman.

Con relación a los tipos de incendios, el Plan Nacional para la Reducción de Riesgos de Desastre (2018), define al incendio forestal como aquel fuego que se propaga sin estar sujeto al control humano. Cuando el fuego afecta zonas no boscosas ni aptas para la forestación, se denominan incendios rurales. En el caso que los incendios rurales y/o forestales se desarrollen en zonas contiguas con áreas urbanas, donde se interfiere vegetación con estructuras edilicias se denominan incendios de interfase.

Los daños materiales que pueden producirse como producto de un incendio, pueden ser mayores en aquellos casos donde el incendio llega a afectar la interfaz Urbano-Rural, que según establece Argañaraz (2016), es el área donde las viviendas se mezclan o colindan con la vegetación silvestre. Además, los incendios de vegetación también derivan en la muerte de animales, disminuyen la oferta de forraje (en el corto plazo) y leña, lo que compromete la subsistencia de los productores rurales, y también producen cambios estéticos en el paisaje, que afectan especialmente la economía de las comunidades que dependen del turismo.

2.4. Sistema de Información Geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) según López Trigal (2015) consiste en un conjunto de herramientas compuesto por hardware, software, datos y usuarios, que permite capturar, almacenar, administrar y analizar información digital, así como realizar gráficos, mapas y representar datos alfanuméricos. De acuerdo a Burrough (1994) un SIG también puede verse como un modelo informativo de la realidad geográfica para satisfacer necesidades de información concretas, esto es, crear, compartir y aplicar información útil basada en datos y mapas.

Un SIG permite la realización de las siguientes operaciones: lectura, edición, almacenamiento y gestión de datos espaciales; también permite el análisis de dichos datos y por último la generación de resultados tales como mapas, informes, gráficos, etc. Es así como un SIG es un elemento que analiza, presenta e interpreta hechos relativos a la superficie terrestre (Olaya, 2014). Los SIG trabajan con datos, el dato es el simple conjunto de valores o elementos que se utiliza para representar algo. La información es el resultado de un dato y una interpretación. Casi todos los elementos que se encuentran sobre la superficie terrestre pueden ser codificados para que una computadora los pueda comprender, y en función del tipo de información se puede usar un modelo de datos u otro.

De acuerdo con Olaya (2014) existen dos aproximaciones básicas para simplificar y modelizar el espacio, de modo que éste pueda ser almacenado y manipulado, dando lugar a dos modelos de datos: el modelo vectorial y el modelo raster. El Modelo de datos vectorial se basa en el supuesto de que la superficie de la Tierra se compone de objetos discretos. En este modelo no existen unidades fundamentales que dividen la zona recogida, sino que se recoge la variabilidad y características de esta mediante entidades geométricas. Estas entidades geométricas que utilizan los datos vectoriales pueden ser: puntos, líneas y polígonos. Mientras que el Modelo de datos ráster se basa en una matriz de celdas representadas en filas y columnas, cada celda puede almacenar información de una variable. El modelo ráster no recoge de forma explícita las coordenadas de cada una de las celdas, sino los valores de éstas.

La teledetección se plantea como una alternativa muy sólida para cartografiar áreas quemadas, ya que proporciona una cobertura espacial y temporal suficientemente detallada, así como una información espectral que permite la separación de las áreas quemadas respecto a otros tipos de coberturas (Grandis *et al.*, 2014).

2.5. Geoindicadores de Estado

Becker (2017) señala que un geoindicador es una variable que resume o simplifica información relevante haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible y que cuantifica, mide y comunica en forma comprensible.

Las principales funciones de los indicadores son: evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones, para evaluar metas y objetivos, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras. Además, para la evaluación de los cambios ambientales, los indicadores son herramientas útiles de análisis como soporte para la toma de decisiones en el manejo sustentable de un ecosistema.

Tavares *et. al.* (2007) manifiestan que los geoindicadores han sido ampliamente utilizados para describir eventos catastróficos o graduales, describiendo el estado del medio ambiente y brindando indicaciones para intervenciones que permitan alterar o detener los procesos, preservando o recuperando la calidad ambiental, con diferentes procesos de obtención para cada ambiente. Un detalle importante para mencionar es que los geoindicadores a utilizar varían de un caso a otro, no solo por el interés específico del estudio en desarrollo, sino también por las características del medio

evaluado y la dinámica de sus procesos. El objetivo básico del uso de geoindicadores es preservar (si es posible mejorar) la calidad del medio ambiente.

2.5.1 Geoindicadores espectrales temporales

En la actualidad, los sensores remotos y los SIG son herramientas fundamentales para abordar estudios relacionados a la ecología del fuego y evaluar el riesgo de incendio. Debido a que, los sensores remotos brindan la posibilidad de monitorear sistemáticamente la superficie terrestre y así conocer el estado de la vegetación y detectar los cambios que ocurren luego de un incendio. Por otro lado, los SIG permiten manejar e integrar múltiples variables espaciales, facilitando la identificación de los factores ambientales que determinan los patrones de ocurrencia de incendios (Argarañaz, 2016).

Las herramientas de detección remota pueden proporcionar mapas de las áreas forestales afectadas por incendios a escala mundial, regional y local y así ayudar durante la evaluación, prevención y seguimiento de los incendios forestales y su gravedad. Mediante la utilización de sensores instalados en satélites, se pueden evaluar las condiciones ecológicas antes y después de un incendio mediante la detección de cambios en los reflejos espectrales (Dindaroglu et. al, 2021).

A través de la teledetección se puede llevar adelante una observación sistemática de toda la superficie terrestre. Las primeras técnicas de teledetección se han basado principalmente en imágenes del sensor NOAA-AVHRR, aunque también se comienzan a utilizar otros sensores más recientes, como el SPOT-Vegetation o el Terra-Modis. Por su parte, en escalas locales, el sensor Landsat-TM (o más recientemente el ETM+) ha sido sin duda el más utilizado. También hay algunos ejemplos de sensores de escala regional, como el IRS-WIFS o el SAC-C/MMRS (Heredia et. al, 2003).

Numerosos autores indican la utilización del Satélite Landsat 7, lanzado desde la Base de la Fuerza Aérea Vandenberg en California el 15 de abril de 1999 en un cohete Delta II. El mismo se encuentra en una órbita heliosincrónica, es importante ya que siempre pasa a la misma hora por un determinado lugar, permitiendo tener una visión de toda la superficie terrestre en un tiempo de 15 días, realizando 232 órbitas. El instrumento esencial a bordo de este es el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) (Landsat 7 Science Data Users Handbook, 1972).

Una característica sumamente importante de los sensores de imágenes satelitales es que obtienen información dentro de rangos específicos de longitud de onda dentro del espectro fotomagnético. Esta información es registrada en distintos canales o bandas espectrales. En particular, las imágenes del Landsat 7 constan de ocho bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las Bandas 1 a 7. Mientras que la resolución para la Banda 8 (pancromática) es de 15 metros (Landsat 7 Science Data Users Handbook, 1972).

Las bandas mencionadas anteriormente pueden combinarse para la generación de índices. Los índices son un conjunto de operaciones algebraicas efectuadas sobre los valores numéricos de los píxeles, usando dos o más bandas pertenecientes a la misma escena. Un Índice de Vegetación,

puede ser definido como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda, y que es particularmente sensible a la cubierta vegetal (Gilabert *et al.*, 1997). También, corresponde a un número generado por alguna combinación de bandas espectrales y que puede tener alguna relación con la cantidad de la vegetación presente en un píxel dado. Estos índices, son utilizados para mejorar la discriminación entre el suelo y la vegetación (Aguayo, 2013).

De Santis *et. al.*, (2009) confirman que “en líneas generales los incendios alteran la cubierta vegetal, reduciendo la clorofila y el contenido de humedad. Asimismo, incrementan el porcentaje de suelo descubierto, lo carbonizan y alteran su color y humedad. Estos efectos en la vegetación y suelo producen cambios en los patrones de reflectividad, que pueden ser detectados mediante el análisis de imágenes de satélite”. Teniendo en cuenta lo mencionado, se determinaron los siguientes índices para el análisis de los incendios que afectaron el área de estudio: Índice Normalizado de Área Quemada (**NBR** de sus siglas en inglés Normalized Burn Ratio) e Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (**NDVI** de sus siglas en inglés Normalized Difference Vegetation).

El NDVI es uno de los índices espectrales más utilizados para evaluar la gravedad de las quemaduras por teledetección. El mismo se trata de una medida del estado fitosanitario basada en la forma en que una planta refleja la luz en ciertas frecuencias. Por otro lado, el índice normalizado de área quemada NBR es un índice diseñado para determinar la gravedad del fuego en áreas quemadas (Dindaroglu *et. al.*, 2021).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

- Evaluar geoindicadores espectrales temporales de los eventos de incendios de interfase del 2009 y 2020 en el área de influencia de Achiras, Córdoba, Argentina.

3.2. Objetivos Específicos

- Analizar las características geoambientales del área de estudio.
- Seleccionar y analizar geoindicadores de estado.
- Construir un mapa geoambiental.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio, de acuerdo a la Figura 1, tiene como centro la localidad de Achiras, Córdoba, Argentina ($33^{\circ} 10' 29''$ S y $64^{\circ} 59' 31''$ O) a 850 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con 2287 habitantes según datos del INDEC (2010). La localidad se encuentra enclavada en las últimas estribaciones de las Sierras Comechingones, formando parte del Departamento de Río Cuarto, Provincia de Córdoba.

Se puede acceder a la localidad por Ruta Provincial N°30 desde la ciudad de Río Cuarto luego del trayecto de los 66 km que los separan. Desde Sampacho (Córdoba) por Ruta Provincial E86 o desde La Punilla (San Luis) por Ruta Provincial N°30. Cabe mencionar que la localidad se encuentra a 272 km de la Capital provincial y a 680 km de la Capital Federal.

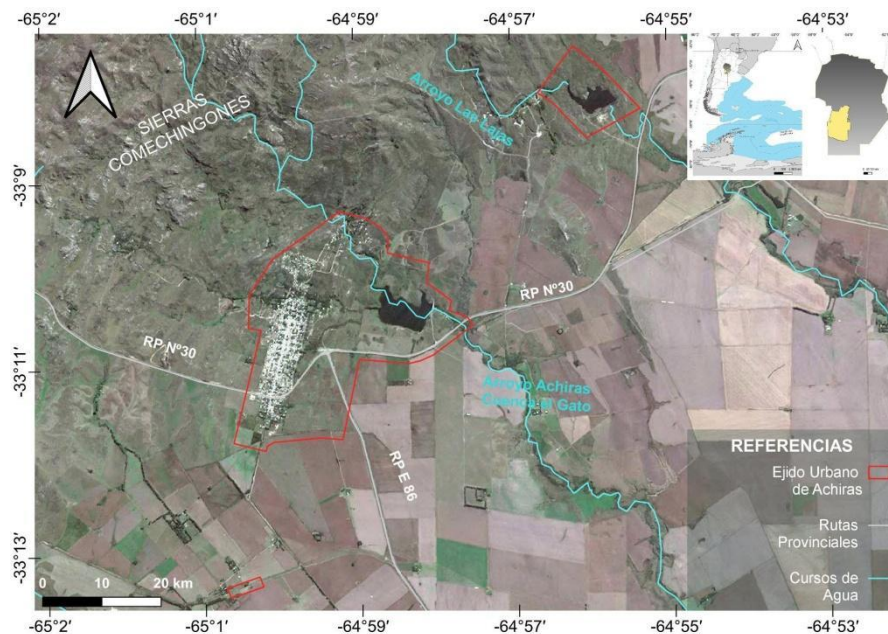


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Elaboración propia mediante QGIS.

4.2. Clima

La provincia de Córdoba se ubica dentro de la zona templada de Argentina, y contiene las características propias de una provincia mediterránea, ya que las precipitaciones provienen principalmente del anticiclón del Atlántico (Figura 2) (Blarasin *et al.*, 2014). Se puede mencionar que el periodo de lluvias oscila entre los meses de octubre a marzo, mientras que el seco se encuentra entre los meses de abril y septiembre.

Haciendo referencia al régimen térmico de la provincia (Figura 3), presenta valores que oscilan entre los 23,5°C al sur hasta valores superiores a 26°C al norte durante el mes de enero, siendo este el mes más cálido estival del año. En cuanto a la época invernal, el mes más frío es Julio, donde la temperatura varía entre 8°C en el sur hasta los 11,5°C en el norte (Gorgas *et al.*, 2003).

En cuanto a la localidad de Achiras, el régimen pluviométrico en general, se caracteriza por ser continental, es decir, con lluvias de verano a veces muy intensas, que comienzan en octubre y finalizan en abril, con una media anual entre 700 y 800 mm. El invierno es la estación seca y las temperaturas medias anuales son de 16°C (Grandis *et. al*, 2014).

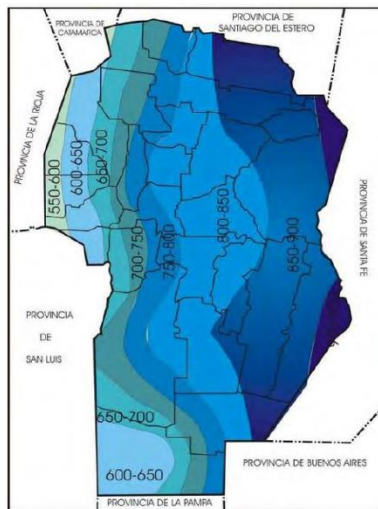


Figura 2. Precipitación media anual (mm) en la provincia de Córdoba, Serie 1961-1990 (Gorgas *et al.*, 2003).

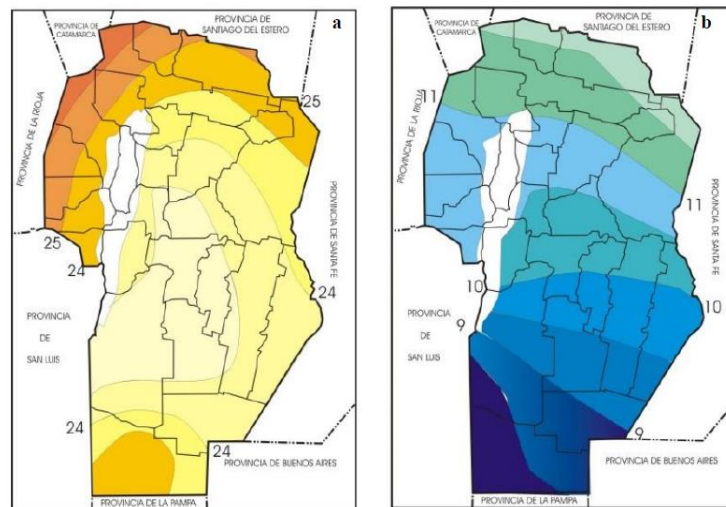


Figura 3. Distribución de las temperaturas medias (°C) en la provincia de Córdoba, Serie 1961-1990. a) enero. b) julio (Gorgas *et al.*, 2003).

4.3. Provincia biogeográfica

De acuerdo con Arana *et al.*, (2021) la localidad de Achiras se ubica en la región biogeográfica Neotropical Provincia Pampeana (Figura 4a), abarcando también la zona de Transición Sudamericana, provincia Comechingones (Figura 4c). Dentro de esta Región, el área de estudio forma parte de la Provincia del Chaco y se caracteriza por encontrarse dentro del distrito Chaqueño Serrano (Figura 4b).

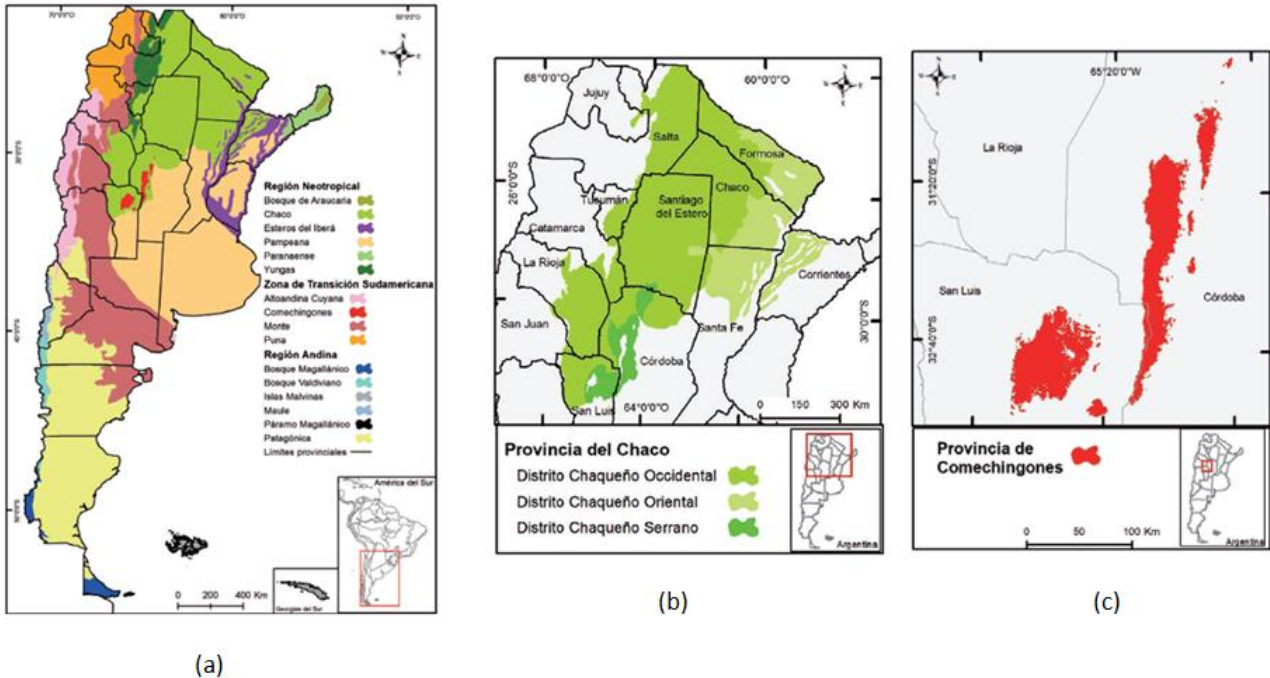


Figura 4. Biogeografía del área de estudio. a) Regionalización biogeográfica de la República Argentina; b) Provincia del Chaco; c) Provincia de Comechingones (Arana *et. al.*, 2021).

El distrito Chaqueño Serrano presenta suelos someros de los faldeos y quebradas de las Sierras Pampeanas del centro de Argentina, en las provincias de Córdoba y San Luis, alcanzando un pequeño sector al sur de Santiago del Estero.

La vegetación característica es el bosque xerófilo y sus elementos representativos en los sectores central y del sur predominan *Lithraea molleoides* (Anacardiaceae); *Zanthoxylum coco* (Rutaceae); *Ruprechtia apetala* y *Kageneckia lanceolata* (Rosaceae); *Condalia buxifolia* (Rhamnaceae); *Vachellia aroma*, *V. caven* y *Prosopis alba* (Fabaceae); *Schinus fasciculatus* (Anacardiaceae); *Celtis tala* (Cannabaceae); y *Geoffroea decorticans* (Fabaceae). Estos bosques alternan con palmares de *Trithrinax campestris* y matorrales o arbustales, que predominan a mayor altura sobre el nivel del mar, donde las especies predominantes son *Acanthostyles buniifolius*, *Baccharis aliena*, *B. articulata*, *B. cordobensis*, *Flourensia thurifera* y *Vernonanthura nudiflora* (Asteraceae); *Colletia spinosissima*, *Condalia microphylla* y *C. montana* (Rhamnaceae); *Lantana*

grisebachii y *Lippia turbinata* (Verbenaceae); *Lepechinia floribunda* (Lamiaceae), *Buddleja cordobensis* (Scrophulariaceae); *Mandevilla pentlandiana* (Apocynaceae); *Solanum stuckertii*, *S. sisymbriifolium* y *S. pseudocapsicum* (Solanaceae); y *Acalypha multicaulis* (Euphorbiaceae) (Arana *et al.*, 2021).

El área de estudio contiene los diferentes pisos de vegetación, caracterizados de menor a mayor altura de la siguiente manera (Grandis *et al.*, 2014):

- A. El bosque serrano, entre los 600 y 700 m s. n. m. aproximadamente. Este piso de vegetación está conformado por especies tales como: espinillo (*Acacia caven*), tala (*Celtis tala*); chilca (*Flourensia oolepis*), tola (*Colletia spinosissima*), poleo (*Mentha pulegium*), romerillo (*Heterothalamus alienus*), carqueja (*Baccharis articulata*) entre las arbustivas; herbáceas pertenecientes a los géneros *Stipa* y *Festuca*.
- B. Piso correspondiente al “romerillal”, entre los 700 y 800 m s. n. m. En abundancia se encuentra *Baccharis coridifolia*. Muy aislados se encuentran espinillos (*Acacia caven*) y moradillos (*Schinus fasciculata*), principalmente en los escalones de crestas; en este piso también se encuentran el tabaquillo (*Polylepis australis*).
- C. Pastizal y bosques de altura entre los 800 y 900 m s. n. m. Domina el “pastizal” bajo con “hierba de oveja” (*Poa stuckertii*)

4.4. Provincia geológica, geomorfología y cuenca hidrogeológica

La localidad de Achiras se encuentra en la región geomorfológica de la zona de montañas que abarca la zona oriental de la provincia geomorfológica de Sierras Pampeanas. Las Sierras pampeanas está conformada por cinco grandes unidades, Sierra Norte, Sierras Chicas-Las Peñas, Sierras Grandes-Comechingones, Sierras de Pocho-Guasapampa y Valles estructurales, en donde la localidad de Achiras se ubica dentro de las Sierras Grandes-Comechingones, al suroeste de la Provincia de Córdoba.

La región serrana del territorio de Córdoba, se extiende entre los 29°00' y 33°30' de latitud S y 63°10' y 65°30' de longitud O, forma parte del sudeste de las Sierras Pampeanas. Conformada por una unidad larga y estrecha de 430 km de longitud y 130 km en su parte más ancha, abarcando una superficie de 35.000 Km² (Mercado *et al.*, 2004). Está compuesta por bloques de basamento fallados y basculados hacia el este, presentando una morfología asimétrica con laderas orientales tendidas y occidentales escarpadas cuyos extremos altitudinales van de los 550 a los 2.790 m s. n. m. Estos bloques están separados por valles estructurales. Orográficamente las sierras de Córdoba pueden ser divididas en cuatro cordones meridianos principales. Todos los cordones serranos tienen la típica morfología asimétrica de las Sierras Pampeanas, presentando una ladera occidental corta y abrupta (Carignano *et al.*, 2014).

Acerca de la cuenca hidrogeológica, en Achiras se encuentra la cuenca del arroyo del Gato, ubicada en el Departamento Río Cuarto, al Sudoeste de la Provincia de Córdoba, Argentina. Desarrolla su cuenca en la sierra y llanura pampeana. Drena un área de aproximadamente 750 km² y

recorre más de 130 km desde sus nacientes, en el extremo meridional de las Sierras de Comechingones (Sierras Pampeanas), hasta los Bañados del Tigre Muerto.

El agua superficial es utilizada con fines recreativos y actividad ganadera, mientras que la subterránea se usa para consumo humano y agropecuario. El agua que consume la población, es un regalo prodigioso que emana a lo largo de las serranías a través de innumerables vertientes, prácticamente compatibles con aguas minerales (Blarasin *et al.*, 2013).

La cuenca presenta problemáticas ambientales vinculadas con procesos hidrológicos, muchas de los cuales se potenciaron a partir de prácticas de manejo poco adecuadas. Por ejemplo, son comunes los procesos de erosión hídrica de suelos, en los últimos años incrementados por severos procesos de erosión fluvial (Blarasin *et al.*, 2013).

Dentro de los límites del ejido urbano de la localidad de Achiras, se puede observar otro curso de agua además del Arroyo Achiras, se trata del Arroyo Las Lajas. El mismo alimenta la Reserva Natural Las Lajas, destacándose por ser de gran valor como reservorio de agua dulce para la localidad.

La localidad cuenta con una Reserva Natural e Hídrica “Presa Achiras” y además con la Reserva Natural “Las Lajas”. En relación con la Presa Achiras, la misma se ubica a 2 Km al este de la localidad, a la vera de la ruta 30 y a 60 Km de la localidad de Río Cuarto. El área que fue declarada Reserva Natural está protegida por la Municipalidad para preservar la belleza autóctona de flora y fauna que tapiza la región. El espejo de agua se trata de una extensión de 50 Ha que reciben las aguas del Arroyo Achiras (Arroyo el Gato) y el Arroyo Los Coquitos que nace a unos 17 kilómetros de allí, en el faldeo oriental de las sierras de los Comechingones (Achiras Turismo, s.f.).

Con respecto a la Reserva Natural Las Lajas, la misma incluye 60 Ha y tiene como objetivo conservar a perpetuidad una muestra representativa del bosque nativo de la Provincia de Córdoba, preservando el flujo hídrico de agua dulce, haciendo hincapié en la concientización de las personas sobre el uso sustentable de los recursos y la conservación del medio ambiente (Achiras Somos Todos, Reserva Las Lajas, s.f.).

4.5. Uso y manejo del territorio

Historia y turismo de Achiras

Pagliaricci *et al.*, (2019) señalan que el período 1830-1835 fue el momento en el que se asentó la población de Achiras en su actual emplazamiento, proveniente de “El Pantanillo”, a unos 5 km al oeste de Achiras. Durante esta etapa se levantó el fuerte, la iglesia y la escuela en un núcleo situado a la vera del arroyo Coquitos. La población creció, se dinamizó el proceso de urbanización y, con éste, se expandió la actividad comercial, administrativa y cultural. Si bien en Achiras se reconoce un extenso proceso de ocupación, puesto que constituye una de las poblaciones más antiguas de la provincia, su historia reciente se vincula estrechamente con la práctica del turismo en la localidad. La principal actividad económica de la localidad es el turismo debido a las características serranas de su paisaje, aunque también se realizan actividades agrícolas y ganaderas. El poblado se destaca por su

belleza, localización en el mapa, historia y diversas fiestas a lo largo del año, esto le permite recibir visitantes de todas partes, durante todo el año, siendo mayor la cantidad de visitantes en los meses de septiembre a febrero.

Durante las últimas décadas se reconoce en la provincia de Córdoba un crecimiento progresivo de las cifras turísticas, un incremento y diversificación de la oferta de alojamiento y un aumento sostenido de la inversión privada en el sector, constituyéndose así en una de las principales áreas receptoras del país en la actualidad (Pagliaricci *et al.*, 2019).

En la actualidad, la localidad cuenta con hoteles, cabañas de alquiler temporal, campings y comercios minoristas. En general la población tiene empleo temporario por la actividad agropecuaria o trabaja en localidades cercanas con mayor oferta laboral (Plan Estratégico para el Desarrollo Territorial de Achiras, 2018).

A través de su histórica Posta de Los Nogales y la Conquista del Desierto comienza a conocerse el poblado de Achiras, nacida en el año 1574. La Posta de Los Nogales se encuentra próxima al Camino Real; por allí pasó el Gral. San Martín cuando se dirigía a Cuyo (Córdoba Turismo, localidad de Achiras). Otro lugar de interés histórico en la zona es “El Ojito”, donde se mantiene el arte de los antiguos habitantes, los Comechingones, que plasman la cultura rupestre digna de ser admirada y valorada.

En la zona conocida como el Barrio de los Rosarinos, se encuentran las viviendas más antiguas de la villa: la iglesia, la plaza Roca que fue el lugar de asentamiento del fuerte, El Museo de Achiras y Casa de la Cultura cuya construcción data de 1870, es el rincón donde se pueden descubrir la vida, costumbres e historia de los aborígenes que habitaron estas tierras. Además, el Archivo Histórico muestra el pasado de toda la región en importantísimos documentos. Estos lugares de interés turístico, la espesa vegetación, su buen clima y los cristalinos arroyos la hacen llamar por sus visitantes a Achiras “La Linda del Sur” y abundan las ofertas para realizar diferentes actividades, un lugar lleno de paz y tranquilidad (Córdoba Turismo, localidad de Achiras).

Dentro de los lugares que se pueden visitar se destacan: Sitio de Artes Rupestres “El Ojito”, Balneario “Rio Achiras” (Arroyo El Gato), Arroyo “Los Coquitos”, La Ollita, Iglesia “Nuestra Señora de La Merced”, Casa de los Oribe, El Fuerte, Museo del Desierto, Cerro “Inti Huasi”, Posta Los Nogales, Presa Achiras, entre otros.

Con respecto a la Presa Achiras, se permite la pesca con devolución y la práctica de deportes náuticos sin motor. Cuenta con un peri lago especial para disfrutar de la pesca de costa de truchas y pejerreyes (según las épocas) con los permisos oficiales correspondientes. Hay senderos para trekking, mountain bike, avistaje de aves y un sector amplio para balneario, demarcado con boyas. El sitio además cuenta con un gran playón de arena llamado “Playa dorada”. Dentro de las actividades que se pueden realizar, se puede mencionar: Pesca, Kitesurf, Kayak, Windsurf, Senderismo, Trekking, Mountain Bike y Avistaje de Aves (Achiras Turismo, Presa Achiras, s.f.).

En la Reserva Municipal las Lajas se puede realizar: pesca deportiva de pejerrey, Fly Cast, Senderismo y Mountain Bike, avistaje de aves y Observación de Flora y Fauna autóctona (Achiras Somos Todos, Reserva Las Lajas, s.f.).

También la localidad presenta con un buen servicio de artesanos y la gastronomía ofrece una exquisita variedad de platos regionales como son las carnes de cordero, ternero y vizcacha. A estos se deben sumar las típicas pastas caseras y demás comidas criollas. Además de degustar los exquisitos dulces, mermeladas, licores, alfajores todo artesanalmente elaborados.

Además de todos los atributos paisajísticos, la localidad es conocida por la Fiesta Provincial del Turismo. La festividad tiene en escena una importante oferta de artistas nacionales, regionales y bandas de destacada trayectoria, se destaca por realizarse en el primer mes del año, y permite recibir una gran masa de turistas a la hermosa localidad.

Actividad agropecuaria

La Provincia de Córdoba es una importante productora de bienes primarios, con un fuerte sector agrícola orientado a la producción de soja, maíz, trigo y maní. También manufacturas de origen agrícola, con un sector agroindustrial dedicado a la producción de derivados de la soja y productos lácteos.

Los seis principales cultivos que se producen en la provincia son: soja, maíz, trigo, sorgo, maní y girasol. Destacándose principalmente en el área de estudio la producción de: soja, maíz y trigo. En relación a esto, se pondera el departamento de Río Cuarto por su mayor área agrícola con 917.000 hectáreas, le siguen los departamentos de San Justo (859.100), Marcos Juárez (753.200), Unión (681.000) y General Roca (664.600). En cuanto a producción, se destaca el departamento perteneciente al área de estudio por su mayor superficie de sorgo y girasol (Ré, 2016).

Con respecto a la actividad ganadera, la misma se concentra en el centro-sur del territorio provincial. Esta zona se caracteriza por el predominio de planteos de ciclo completo. Los frigoríficos con mayor volumen de faena se concentran próximos a los principales centros urbanos como Córdoba capital y Río Cuarto (Ministerio de Hacienda Presidencia de la Nación, 2018, p. 33).

El impacto diferencial del proceso de modernización agropecuaria en la economía urbana de las localidades de Río Cuarto, Sampacho y Achiras refuerzan el circuito económico superior de manera selectiva y constituyen el centro de dispersión y concentración de la modernización agropecuaria con creciente regulación urbana. La estacionalidad de la actividad turística, escaso desarrollo de la actividad silvícola, expulsión de la población de las áreas rurales dispersas, avance de la actividad agrícola moderna; se traduce en la multiocupación poblacional, es decir, en la necesidad de trabajar en distintas actividades en distintos momentos del año para superar la estacionalidad de las mismas. (Maldonado *et al.*, 2018)

Innovación Energética

La localidad cuenta con el Parque Eólico Achiras, el mismo es el único parque eólico de Córdoba. Forma parte de los siete parques eólicos en Argentina que ya se encuentran en

funcionamiento. Fue inaugurado en 2018 con 15 aerogeneradores, pero en la actualidad se amplió esa cantidad a más del doble, cada torre tiene aproximadamente 100 metros de altura. Las aspas del rotor tienen 60 metros de longitud cada una. Los aerogeneradores propiamente dichos, que convierten el movimiento del aire en energía eléctrica, tienen el tamaño de un colectivo mediano. La potencia que genera actualmente Achiras es de 48 MW. La energía eólica está considerada como “limpia”, o no contaminante, y es, claramente, renovable (Achiras Somos Todos, Parque Eólico Achiras, s.f.).

Problemáticas Socioambientales

Alonso et. al (2015), señalan que los conflictos o problemáticas están atravesados por las discusiones respecto de las formas de apropiación, producción, distribución y gestión de los bienes naturales en una comunidad o región y que estos conflictos dan cuenta de la existencia de una conciencia social respecto del ambiente y la naturaleza. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, existen ciertas situaciones que se caracterizan como problemáticas socio ambientales muy marcadas en la localidad, vinculadas principalmente con ciertas condiciones climáticas, que en una relación en cadena perjudican al ambiente perteneciente al área de estudio y a la población en sí de manera directa.

4.6. Análisis de las características geoambientales del área de estudio

El análisis geoambiental, de acuerdo con Cervantes Guerra (2016), se basa, desde el punto de vista geológico, en reconocer y describir formas y procesos de continua transformación del planeta, estudiar las relaciones de causa-efecto de los procesos actuales en el medio físico por las actividades humanas, siendo el ser humano un agente de transformación, así como intervenir y formar parte de instrumentos de gestión ambiental preliminar del territorio.

Por ello, para el análisis geoambiental se tuvo en cuenta resultados generados en investigaciones previas y bibliografía complementaria. Además, las características del área de estudio mediante un análisis y estudio exhaustivo de mapas, como así también antecedentes a nivel geológico, geopedológico, climático y socioambiental.

4.6.1 Factor Climático

Los datos climáticos fueron tomados de la estación Agrometeorológica UNRC (serie 1974-2021) y de la estación Río Cuarto Aero (Serie 1981-2021), por su proximidad a la localidad de Achiras, en búsqueda de tener una mayor representatividad del área. Para el análisis se realizaron gráficos con la finalidad de poder observar cómo se comportan los años de análisis (2009 y 2020) en relación a un periodo de años de acuerdo a las variables meteorológicas: precipitación y temperatura; mientras que, con la variable meteorológica de viento, se buscó determinar si los meses de ocurrencia de los incendios tienen una relación con la velocidad del viento en el área. La dirección no fue analizada debido a que no existe una dirección predominante en relación al registro de incendios.

4.6.2 Factor Geopedológico

Se analizó a partir del modelo digital de elevación y Cartas de Suelo de Mapas de Córdoba. Se descargaron las capas en formato shape de los límites de las unidades cartográficas de suelos y se realizaron mapas con QGIS versión 3.22.1, para poder analizar las características del suelo en el área de estudio en relación al suelo afectado en cada incendio.

4.6.3 Factor Vegetación

Se analizaron diferentes autores (Arana *et al.*, 2021; Argañaraz, 2016; Grandis *et al.*, 2014; Mari *et al.*, 2021; entre otros) para definir la vulnerabilidad de la vegetación frente a los eventos de incendio.

4.6.4 Factor Socioambiental

Se efectuaron y analizaron entrevistas estructuradas y semiestructuradas a actores sociales claves de la localidad de Achiras, entre ellos los bomberos, la Cooperativa eléctrica, municipio y habitantes de la misma.

4.7. Selección y análisis de geindicadores de estado

En el contexto de los incendios forestales, la severidad es una de las variables comúnmente referidas para su caracterización. La importancia radica en que el nivel de severidad condiciona la respuesta del ecosistema a los efectos del fuego, convirtiéndose así en una variable predictiva de gran importancia para la gestión de las áreas quemadas (Llovería *et al.*, 2014).

A partir de las imágenes del satélite Landsat 7 del United States Geological Survey (USGS) y mediante el programa QGIS versión 3.22.1, se analizaron los siguientes indicadores: NBR y NDVI. Dichos índices se caracterizan por medir: tasa de quema normalizada y vegetación.

Teniendo en cuenta lo mencionado, se realizó el análisis de datos ráster sobre la zona de estudio pre y post incendio en 2009 y 2020 donde el área de interés se vió afectado por los incendios. Se utilizaron modelos de datos ráster, los cuales se cargaron en el Software Libre QGIS. Utilizando imágenes satelitales Landsat 7 y el software mencionado anteriormente se llevó a cabo el análisis espacial mediante los índices espectrales: **NBR** y **NDVI**. Luego de esto, se calculó la diferencia entre las imágenes pre y post incendio de cada índice, obteniéndose la diferencia de NBR (**dNBR**) y la diferencia de NDVI (**dNDVI**).

Los índices son un conjunto de operaciones algebraicas efectuadas sobre los valores numéricos de los píxeles, usando dos o más bandas pertenecientes a la misma escena. Estos índices, son utilizados para mejorar la discriminación entre el suelo y la vegetación, reduciendo el efecto del relieve en la caracterización espectral de las diferentes cubiertas (Aguayo, 2013).

Como dato ráster se cuenta con las siguientes imágenes satelitales de Landsat 7 tomadas sobre el área de estudio (Figura 5). La fecha previa hace referencia a la imagen tomada anterior al suceso del incendio, mientras que la fecha posterior es la imagen tomada luego del evento de

incendio ocurrido sobre el área. Para esto es necesario tener en cuenta que las fechas de análisis se designaron considerando los días de mayor actividad de cada uno de los dos eventos, ya que ambos incendios no se efectuaron en un solo día sino en un periodo de tiempo. El día de mayor actividad del evento de incendio del 2009 fue el 13 de agosto de ese año, mientras que el día de mayor actividad del segundo evento fue el 5 de octubre del 2020, según los datos ofrecidos por el cuartel de bomberos de la localidad de Achiras.

Ubicación de la imagen (path/ row)	Fecha previa	Fecha posterior
229/083	18/07/2009	07/11/2009
229/083	18/09/2020	05/11/2020

Figura 5. Información de las imágenes satelitales tomadas para el análisis. Fuente: elaboración propia.

Para comenzar con el análisis se cargaron los datos ráster en el Software libre QGIS versión 3.22.1, se tomaron las bandas desde la 1 a la 5 de las imágenes satelitales de Landsat 7. A continuación se realizó una corrección de las imágenes mediante plugin SCP (Semi-Automatic Classification Plugin). Una vez corregidas se prosiguió con el apilado de las mismas con el fin de trabajar con 4 imágenes (dos del 2009 y dos del 2020). Sobre las imágenes ráster apiladas y corregidas, se realizó un recorte mediante la capa vectorial del área de estudio. Dicha área de estudio fue determinada teniendo en cuenta que ambos incendios provenían de la Provincia de San Luis, atravesando las sierras y llegando a la localidad. Una vez realizado este trabajo previo, se calcularon los índices espectrales mencionados anteriormente. Para el cálculo de los índices se utilizaron como fórmulas las detalladas a continuación:

NBR: Índice Normalizado de Área Quemada

El índice **NBR** determina la gravedad del fuego en áreas quemadas y toma valores que se encuentran en un rango entre -1,0 a 1,0 destacando los valores negativos como áreas quemadas y los positivos con vegetación sana o en fase de regeneración.

$$\frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad \frac{B4 - B5}{B4 + B5}$$

NIR – luz reflejada en el espectro del infrarrojo cercano

SWIR – luz reflejada en el rango infrarrojo de onda corta

NDVI: Índice de vegetación de diferencia normalizada

Mediante este índice se determinó el verdor y la densidad de la vegetación de la imagen de satélite. Se utilizó en la comparativa de ambos eventos para visualizar el impacto de los incendios sobre la vegetación. El mismo toma valores que van de -1,0 a 1,0 en donde los valores cercanos a -1 indican poca vegetación mientras que los valores cercanos 1 demuestran una densidad de vegetación.

$$\frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad \frac{B4 - B3}{B4 + B3}$$

NIR – luz reflejada en el espectro del infrarrojo cercano

RED – luz reflejada en el rango rojo del espectro

Luego, se aplicó la diferencia de NBR y NDVI, para comparar el pre y post incendio de ambos años (2009 y 2020) y se determinó la severidad de incendio de los eventos.

4.8. Construcción de un mapa geoambiental para la integración de los resultados obtenidos

Con los datos obtenidos se construyó el índice NBR, el mismo se trata de un índice diseñado para determinar la gravedad del fuego en áreas quemadas (Dindaroglu *et al.*, 2021). El mismo combina las dos bandas espectrales que responden al fuego de manera más acusada y contrastada: el infrarrojo cercano (NIR), cuya reflectividad desciende debido a la desaparición de la vegetación activa, y el infrarrojo medio de onda corta (SWIR), cuya reflectividad incrementa por la pérdida de humedad, la mayor exposición del suelo y las menores sombras proyectadas por la vegetación (Llovería *et al.*, 2014).

Dicho índice posee un rango de valores comprendidos entre -1 y 1. Donde los valores negativos ilustran zonas afectadas por el fuego mientras que valores positivos representan zonas vegetales sanas o en fase de regeneración si previamente ha existido un incendio.

Luego, se calculó el NDVI, el cual mide el verdor y la densidad de la vegetación captada en una imagen de satélite. Funciona comparando matemáticamente la cantidad de luz roja visible absorbida y la luz infrarroja cercana reflejada. La clorofila (un pigmento indicador de la salud vegetal) absorbe la luz visible y la estructura celular de las hojas refleja la luz del infrarrojo cercano. Cuando la planta se deshidrata, padece una enfermedad, etc., la capa esponjosa se deteriora y la planta absorbe más luz del infrarrojo cercano, en lugar de reflejarla. Así, la observación de cómo cambia la luz NIR en comparación con la luz roja proporciona una indicación precisa de la presencia de clorofila,

que se correlaciona con la salud de la planta (NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, s.f.).

Este índice está definido por valores que van de -1,0 a 1,0, donde los valores negativos están formados principalmente por nubes, agua y nieve, y los valores negativos cercanos a cero están formados principalmente por rocas y suelo descubierto. Los valores muy pequeños (0,1 o menos) de la función NDVI corresponden a áreas sin rocas, arena o nieve. Los valores moderados (de 0,2 a 0,3) representan arbustos y praderas, mientras que los valores grandes (de 0,6 a 0,8) indican bosques templados y tropicales.

Se aplicó la fórmula de NDVI a las imágenes correspondientes al año 2009 y el 2020, obteniendo un total de 4 imágenes de análisis (2 pre incendio y 2 post incendio). A continuación, se definió la rampa de colores sobre las imágenes. Teniendo en cuenta que el índice toma valores de -1,0 a 1,0, se establece la rampa creciente de menos vegetación a mayor vegetación.

Una vez aplicados ambos índices, se llevó adelante la aplicación de la diferencia de estos. La diferencia entre índices para dos momentos temporales nos permitirá establecer una comparativa de los valores y determinar el grado de severidad o situación territorial en el momento post incendio. A partir de cada par de imágenes previas y posteriores se ha realizado la diferencia entre la imagen inicial y la final. Obteniendo con esto el delta NBR (dNBR) y el delta NDVI (dNDVI), ambos permiten evaluar el cambio producido por el incendio en relación al suelo y/o vegetación de acuerdo a su respectivo índice.

La diferencia de NBR se transcribe a: **dNBR: NBRpre – NBRpost**

Se aplicó dicha fórmula sobre el incendio del 2009 y del 2020, obteniéndose dos imágenes que representan la severidad del fuego en ambos incendios. Sobre dichas imágenes se aplicó la rampa semáforo usando como base los valores ofrecidos por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS).

< -0,25: Alto crecimiento de vegetación posterior al fuego

(-0,25) – (- 0,1): Bajo crecimiento de vegetación posterior al fuego

-0,1 – 0,1: Zonas estables o sin quemar

0,1 – 0,27: Zonas quemadas con gravedad baja

0,27 – 0,44: Zonas quemadas con gravedad moderada-baja

0,44 – 0,66: Zonas quemadas con gravedad moderada-alta

> 0,66: Zonas quemadas con gravedad alta

La diferencia de NDVI se transcribe a: **dNDVI: NDVIpre – NDVIpost**

Se aplicó dicha fórmula sobre el incendio del 2009 y del 2020, obteniéndose dos imágenes que representan la severidad del fuego en ambos incendios en relación a la vegetación. Sobre dichas imágenes se aplicó la rampa semáforo usando como base la siguiente interpretación:

$\leq -0,27$: Alto crecimiento de vegetación posterior al fuego

$(-0,27) - (-0,12)$: Bajo crecimiento de vegetación posterior al fuego

$(-0,12) - 0,03$: Zonas estables o sin quemar

$0,03 - 0,18$: Zonas quemadas con gravedad moderada-alta

$> 0,18$: Zonas quemadas con gravedad alta

Es importante destacar que las imágenes puras con el índice de NBR y NDVI aplicado, destacan las zonas quemadas con valores negativos. Pero cuando se aplica la diferencia, las áreas que tienen un mayor grado de severidad quedan definidas por valores positivos, esto se debe a que al aplicar la regla de los signos entre **pre incendio - post incendio**, la resta se traduce en $(+) - (-) = (+)$. $(+) = (+)$. De esta manera quedan representadas en las imágenes la rampa semáforo, que traduce en zonas rojas áreas con alto grado de severidad de incendio.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis de las características geoambientales del área de estudio

Para comprender el efecto de los controles top-down y bottom-up sobre la distribución espacial de incendios es necesario tener en cuenta que no basta solo con conocer el efecto individual de cada una de estas variables; sino que también es necesario conocer la importancia relativa de cada variable y la forma en que las variables interactúan entre sí para determinar el patrón de distribución espacial de incendios (Landi, 2018).

Teniendo en cuenta esto es importante determinar las características geoambientales del área de estudio, considerando las características del suelo, vegetación y clima, como controles Top-down y Bottom-up determinantes de la propagación de los incendios ya que, de acuerdo con Grandis *et al.*, (2014) los factores que influyen para que se produzca el incendio están relacionados con la sequedad de la vegetación (contenido de humedad y cantidad de vegetación viva), las variables climáticas que influyen en la propagación e intensidad del fuego, la disponibilidad de elementos combustibles, la sequía prolongada en la estación seca y las temperaturas altas para la época de incendios, acontecimientos que se encuentran presentes en la provincia de Córdoba.

5.1.1. Controles Top-down

Factor Climático

En base al análisis realizado de la Estación Agrometeorológica de la Universidad Nacional de Río Cuarto, el área de estudio se caracteriza por presentar un régimen de tipo monzónico donde las precipitaciones se concentran en primavera-verano, siendo menores en otoño-invierno (Figura 6). Esto coincide con lo señalado por Grandis *et al.*, (2014) en el área de estudio.

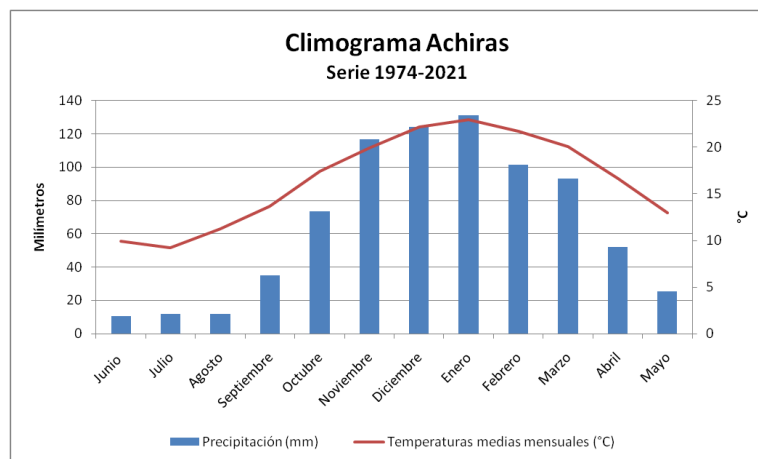


Figura 6. Climograma localidad de Achiras, Córdoba Argentina. Fuente: Elaboración propia en base a datos de la estación Agrometeorológica UNRC Río Cuarto.

En la Figura 7 se presenta la curva cronológica anual de precipitaciones (serie 1974- 2021) donde la precipitación media anual es de 784 mm, el cual evidencia que en los años 2009 y 2020 se registraron precipitaciones (579 y 539 mm, respectivamente) inferiores a la media y asociados a dos ciclos secos bien marcados. En relación a los años húmedos, es importante destacar que los años previos a los incendios superan la media, con un marcado contraste entre los años húmedos y secos.

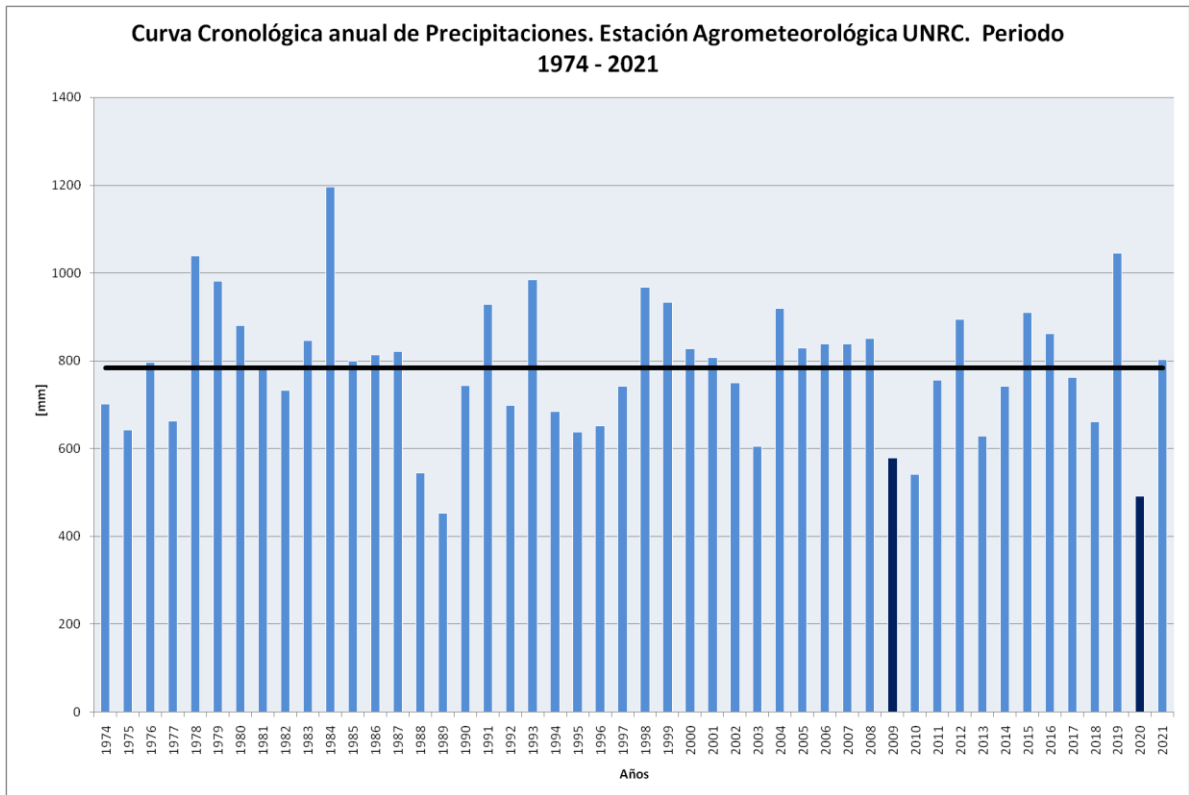


Figura 7. Curva Cronológica anual de precipitaciones. Estación Agrometeorológica UNRC (Serie 1974-2021).
Fuente: Elaboración propia.

Tener en cuenta las condiciones climáticas al momento de analizar el fenómeno de los incendios es de suma importancia, debido a que estas condiciones pueden llegar a favorecer el desarrollo y la propagación del fuego.

En la Figura 8 se observan representadas las temperaturas máximas de la estación Agrometeorológica Río Cuarto (serie 1981-2021), mediante un color diferenciado se destacan los años 2009 y 2020. El promedio de temperaturas máximas presenta un valor de 23°C, el cual evidencia que en los años 2009 y 2020 (24,295°C y 24,157°C, respectivamente), sobrepasan el valor medio.

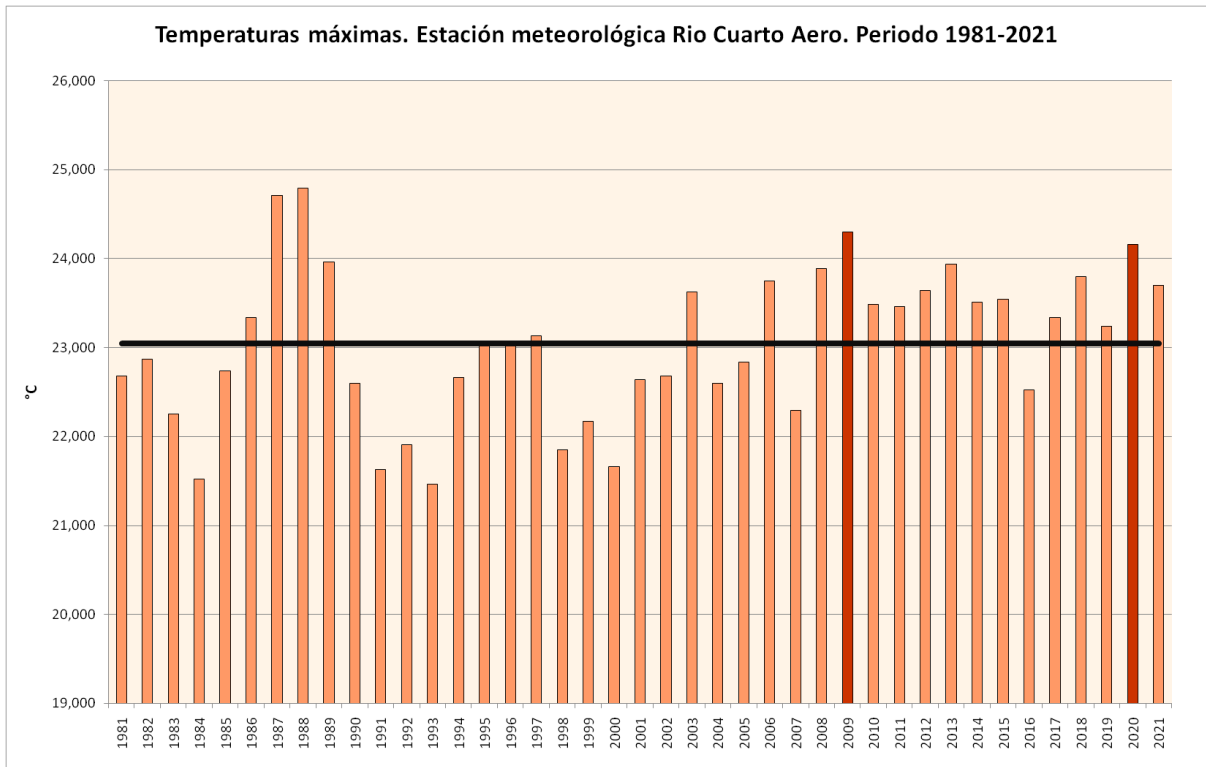


Figura 8. Temperaturas máximas del periodo 1981-2021 de la estación meteorológica Río Cuarto Aero. Fuente: Elaboración propia en base a datos otorgados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

De acuerdo con la Figura 9 acerca de la distribución de velocidades medias mensuales de vientos, durante los meses de Agosto, Septiembre, Octubre y Noviembre los vientos aumentan su velocidad, incluso el valor de los mismos se encuentran por encima del promedio de velocidades del viento de acuerdo a la serie histórica de 1974-2021, donde el valor del mismo es de 12,25 km/h. Se destaca el trimestre de Septiembre a Noviembre, donde la media mensual excede los 14 km/h. Es importante señalar que los meses donde ocurrieron los eventos de incendio en el área de estudio fueron: Agosto, para el año 2009 y Octubre para el año 2020, precisamente los meses de mayor velocidad del viento en km/h y de salida del semestre frío y seco de acuerdo al régimen monzónico.

De acuerdo con los datos de la estación meteorológica Río Cuarto Aero brindados por el SMN, se determina que en el incendio del 2009 el promedio de velocidades de viento durante la semana de incendios, se encontraban alrededor de los 19,8 km/h, en donde el día de mayor actividad (13 de agosto), la velocidad del viento era de 18 km/h. En relación al 2020 y según los datos analizados de la estación mencionada anteriormente, se establece que el promedio de velocidades de viento durante la semana de incendios, se encontraban en los 22,5 km/h, donde el día de mayor de actividad (5 de octubre) la velocidad del viento era de 15,2 km/h. Teniendo en cuenta el promedio histórico de velocidades del viento, durante las fechas del 2009 y el 2020 dicho valor de 12, 25 km/h es superado.

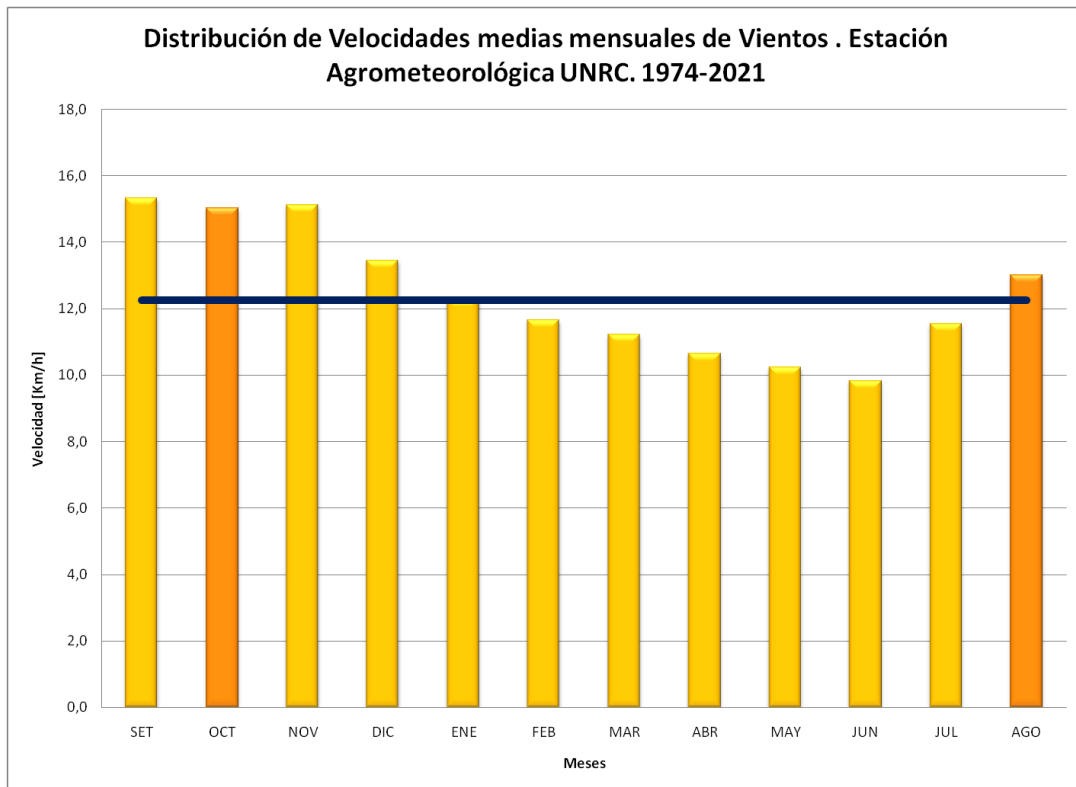


Figura 9. Distribución de velocidades medias mensuales de vientos. Período 1974- 2021. Estación Agrometeorológica Río Cuarto UNRC.

Con respecto a la dirección de los vientos, en términos generales, en el área de estudio son predominantes del sector Norte y Noreste (Figura 10), sin embargo en los momentos donde ocurrieron los incendios, no es posible determinar una dirección específica. Esto se debe a que, de acuerdo a lo mencionado por el bombero Otamendi (comunicación personal, 2022), los vientos no presentaban una dirección predominante, más bien rotaban en diferentes direcciones llevando a los focos de incendio a diferentes zonas y dificultando el trabajo de mitigar los mismos.

Mari *et al.*, (2021) expresan que la acumulación de combustibles finos y la ocurrencia de heladas de diversa intensidad fueron algunos de los disparadores del desecamiento de la vegetación en los incendios.

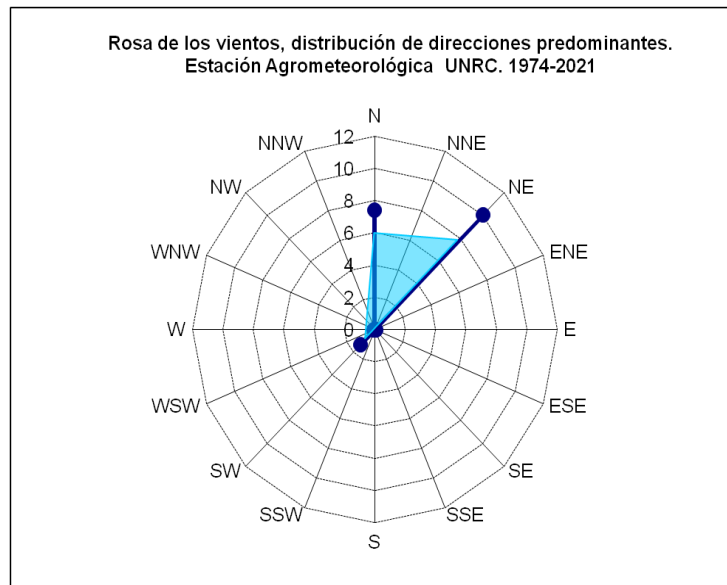


Figura 10. Rosa de los vientos, distribución de direcciones predominantes. Período 1974- 2021.
Estación Agrometeorológica Río Cuarto UNRC.

Teniendo en cuenta el análisis de acuerdo a la precipitación, es posible afirmar que los dos años de estudio se encuentran dentro de los cinco años **más secos** de la serie 1974-2021, ya que la precipitación media de ambos se encuentra por debajo de los 600 mm anuales. También es posible determinar que el año 2020 fue más seco que el 2009 con una diferencia de 40 mm. A su vez, mediante la curva cronológica anual de precipitaciones se observa que los años anteriores a los del 2009 y 2020 se caracterizan por ser años muy húmedos, ya que la precipitación media anual sobrepasa los 800 mm. Incluso, es de destacar que el año 2019 fue más húmedo que el 2008. De acuerdo a las características climáticas en cuanto al factor precipitación, el año 2009 se caracterizó por ser poco lluvioso (579 mm) y muy caluroso con una temperatura máxima anual de 24,3°C. El año 2020 también se caracterizó por sus condiciones de baja precipitación (491,2 mm) y elevada temperatura (24,15°C). Teniendo en cuenta los años previos a los incendios en cuanto a las temperaturas máximas, el 2008 presentó mayor valor que el promedio de temperaturas máximas del 2019. Es posible de acuerdo al análisis realizado, afirmar que las condiciones meteorológicas del 2009 eran más desfavorables que el 2020 por sus años previos y características meteorológicas propias, pero ambos años se caracterizan por presentar características que favorecían el desarrollo y la propagación del fuego, indicando una mayor vulnerabilidad del área a los eventos de incendio.

A partir de los resultados es importante señalar que los factores precipitación, temperaturas máximas y velocidades del viento, fueron factores determinantes para la continuación y desarrollo de los incendios en 2009 y 2020.

5.1.2. Controles Bottom-up

Factor Geopedológico

De acuerdo a la carta de suelos INTA (2022) en el área de influencia de la localidad de Achiras se encuentran los siguientes complejos de suelos: Complejo EAch2, Complejo EAch3, Complejo indiferenciado CoM, Complejo indeterminado CoB3, Complejo indiferenciado CoC y el Complejo indiferenciado CoB (Figura 11).

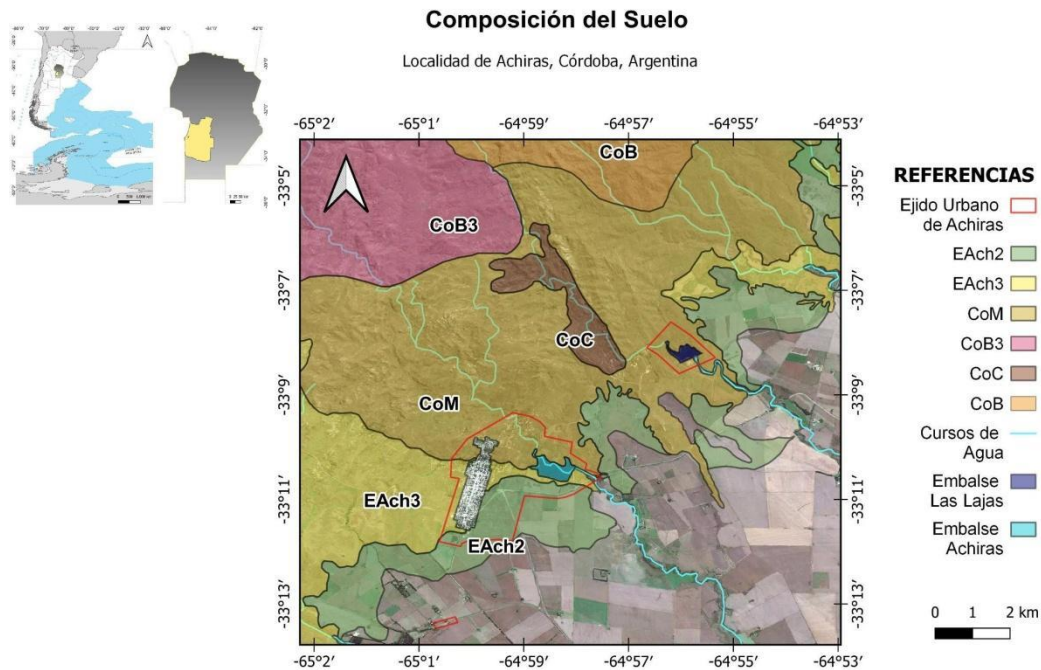


Figura 11. Composición del suelo de la localidad de Achiras, Córdoba (Modificado de INTA, 2022).

Al noroeste del área de estudio, se encuentra el complejo indeterminado desarrollado sobre roca granítica (**CoB3**). El mismo presenta un porcentaje de pedregosidad alto, donde la roca aflorante alcanza el 40%. Los suelos resultantes de la intemperización de la roca granítica son muy someros y la clase por tamaño de partícula es fragmentaria, constituida por grava, piedra y arenas muy gruesas, y escasa tierra fina. En cuanto al relieve, es escarpado con gradientes que oscilan entre el 25 y 45%.

Al norte del área de estudio se encuentra el complejo indiferenciado de Series CALAMUCHITA I; CALAMUCHITA III; CALAMUCHITA V y afloramientos rocosos (**CoB**), el mismo se trata de áreas escarpadas o muy colinadas. Los suelos presentan escaso desarrollo y se caracterizan por ser pocos profundos por contacto lítico, presentan baja retención de humedad y drenaje excesivo.

En el centro del área de estudio se desarrolla el Complejo indiferenciado de Series CALAMUCHITA I; CALAMUCHITA III; CALAMUCHITA IV y rocas aflorantes (**CoC**), consiste en una unidad cartográfica correspondiente a las quebradas de los ríos y arroyos principales, con dominio de

pendientes abruptas con gradientes que superan el 45%. Los suelos con pendientes son someros o muy someros, de textura arenosa gravilosa y los afloramientos rocosos superan el 20%.

Rodeando la composición CoC, en contacto con la localidad de Achiras y al norte de la misma, se encuentra el complejo indiferenciado de Series EL CHACAY; EL CHACAY en fase somera; EL CHACAY en fase profunda y muy pedregosa; HUERTA VIEJA en fase profunda y extremadamente pedregosa; YACANTO III y afloramientos rocosos (**CoM**). Comprende una franja ubicada al este de las Sierras de los Comechingones, fuertemente inclinada o muy colinada entre 10 y 25% de gradiente, recubierta por una vegetación típica de monte serrano. El área está cubierta en general por un manto de sedimentos eólicos de textura franco arenosa a franca, de espesor variable, siendo más profundo en paisajes suavemente colinados y cóncavos del sector oriental y somero con afloramientos rocosos y suelos con tenores variables de carbonatos en las partes más altas y escarpadas. Los bajos están rellenos de material aluvional de arrastre.

Al oeste de la localidad, en contacto con ella, se encuentra el Complejo de Series ESTACIÓN ACHIRAS 20%; ESTACIÓN ACHIRAS en fase muy pedregosa 20%; EL CHACAY 30% y 30% de afloramientos rocoso (**E Ach3**). Esta unidad está constituida por áreas fuertemente inclinadas o colinadas con escurrimiento rápido y pendientes mayores al 10%. Comprende el extremo sur de las sierras de Los Comechingones y otros cerros aislados con roca granítica en superficie. Los suelos de este complejo son en su mayoría someros, de textura arenoso franca, con importante presencia de gravas y gravillas en todo el perfil que los hace susceptibles a la erosión eólica. Además, es muy marcada la susceptibilidad a la erosión hídrica como consecuencia de los gradientes propios de estas áreas serranas. Finalmente se observa un porcentaje sustancial de rocas expuestas en la superficie.

Para finalizar, al sur de la localidad de Achiras, se encuentra el Complejo de Series ESTACIÓN ACHIRAS en fase severamente erosionada por agua 45%; Serie BULNES en fase moderadamente erosionada por viento 20%; Serie BULNES en fase parcialmente acumulada 15% y ACHIRAS en fase ligeramente erosionada por agua 20% (**E Ach2**). La serie Estación Achiras es un suelo poco fértil, excesivamente drenado, desarrollado sobre materiales eólicos y aluviales arenoso francos, y que se ubica en las áreas de piedemonte de las Sierras de los Comechingones. Se trata de un Ustipsamment típico, arenosa, mixta, térmica, donde los contenidos de materia orgánica son menores al 1% con la presencia de gravas y gravillas en superficie.

Es importante considerar la composición de los suelos para determinar si los mismos presentan mayor vulnerabilidad con los eventos de incendio. A través de las figuras 12 y 13 se observa las composiciones de suelo que se vieron afectadas luego de los eventos de incendio y con su respectiva severidad mediante el índice NBR (donde los valores negativos son áreas quemadas y los positivos representan vegetación sana).

En el incendio del 2009 se vieron afectadas las composiciones CoB, CoB3, CoC, CoM, E Ach3 y en menor medida E Ach2. En el incendio del 2020, se vieron afectadas todas las composiciones nombradas anteriormente menos E Ach2. En cuanto a la severidad, es posible afirmar que hubo una mayor afectación de las composiciones en el 2009 que en el 2020, debido a que las tonalidades de

acuerdo al índice de NBR son rojizas oscuras (con valores entre -0,50 y -1), mientras que en el 2020 los valores de las composiciones son cercanos a -0,25 y -0,50. También se observa claramente que durante el evento del 2009 las composiciones CoM, EAch3 y EAch2 que rodean la población, presentaron mayor severidad, dado que se vieron afectadas por la característica de interfase del incendio. Mientras que en el 2020 se realizó una intervención antrópica de control del incendio que evita que el mismo avance sobre la interfaz urbana.

De acuerdo a la composición de los suelos de manera general, el desarrollo de vegetación se asocia más al estrato arbustivo y de pastizal. Es importante mencionar esto, para una correcta interpretación de las imágenes cuando demuestran zonas verdesas.

Teniendo en cuenta las características generales de las composiciones, se puede decir que el suelo presenta pendiente elevada, alta pedregosidad, con presencia de afloramientos rocosos, erosión hídrica y eólica. Estas características sugieren que existe en el suelo una cierta limitante para la retención de humedad que lleva a la vegetación a convertirse en material combustible para los incendios. A partir de los resultados es importante señalar que el factor geopedológico convierte a la zona en vulnerable a los eventos de incendio.

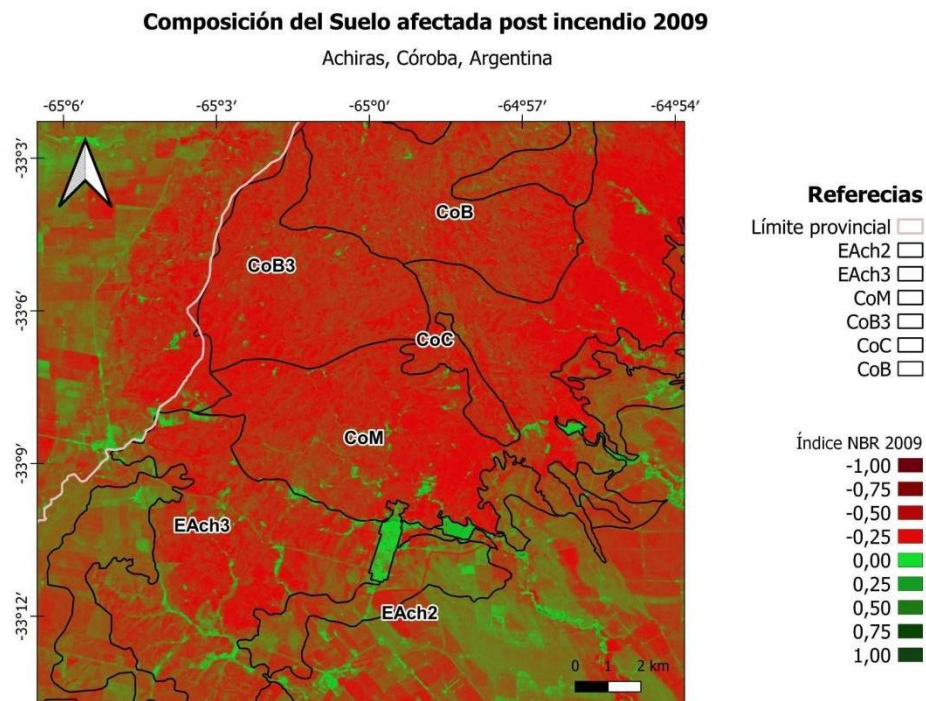


Figura 12. Composición del suelo afectado post incendio de 2009 en la localidad de Achiras, Córdoba.

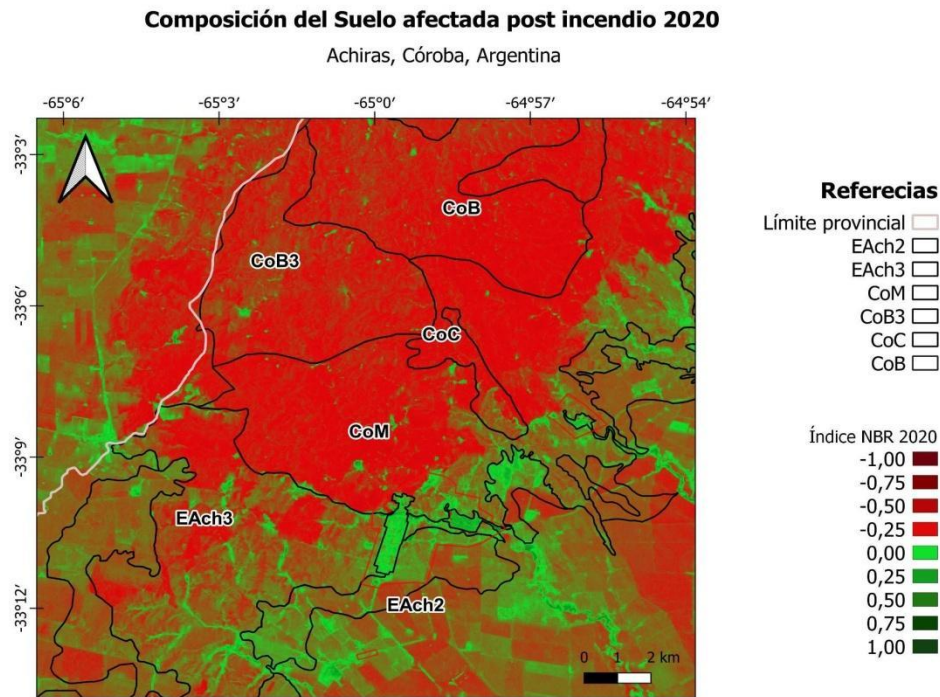


Figura 13. Composición del suelo afectado post incendio de 2020 en la localidad de Achiras, Córdoba.

Factor Vegetación

Las sierras de la Provincia de Córdoba representan uno de los paisajes de la Argentina más afectados por el fuego (Argañaraz, 2016) y es frecuente la generación de incendios en la época donde se conjugan sequías y altas temperaturas (Grandis *et al.*, 2014). En agosto de 2009 en el área de estudio ocurrió un gran incendio forestal y de interfase que afectó el área de bosque serrano, romerillal y pastos de las sierras pero llegando también al área urbana. Similar a lo ocurrido en el 2020 en la misma área antes mencionada.

Según datos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), el 2020 ha sido uno de los años con mayor superficie quemada desde que se tienen registros en la provincia de Córdoba y sobre todo en el departamento de Río Cuarto. En total, las áreas quemadas detectadas en el 2020 fueron aproximadamente 305.534 has en todo el territorio de la provincia de Córdoba. El departamento que mayor superficie quemada tuvo fue el de Río Cuarto con 85.792 has afectadas, representado el 28% del total afectado (Mari *et al.*, 2021).

Es de considerar la vegetación existente en el área de estudio, debido a que la misma cuando carece de humedad se considera material combustible para la distribución de los incendios. El área de estudio, de acuerdo con Arana *et al.*, (2021), se encuentra en la zona de transición de comechingones. La misma se ubica en las regiones montañosas del centro de Argentina entre 29° y 33° de latitud sur, en las provincias de Córdoba y San Luis, donde la vegetación consiste de pastizales de altura, que se extienden por los faldeos, cumbres y planicies elevadas expuestas a los vientos (Figura 14).



Figura 14. Vegetación típica de la Provincia Comechingones, pastizal de *Festuca hieronymi* (Poaceae), Alpa Corral, Córdoba, Argentina (Arana et. al, 2021).

De acuerdo a Peña y Ulloa (2017) los incendios son una de las perturbaciones más agresivas y repentinas que pueden afectar a los ecosistemas forestales, llegando a mermar y modificar fuertemente su estructura y composición. Mientras más severa haya sido la calcinación de la biomasa más severo será el impacto sobre la resiliencia del ecosistema, es decir, su capacidad de volver al estado previo a la perturbación.

En el área de estudio, la vegetación quemada en ambos incendios fue de una gran extensión, viéndose afectada tanto la vegetación autóctona como la exóticas, según lo observado en los índices analizados. De acuerdo a Papió (1988) la sucesión secundaria se produce con posterioridad al incendio y consiste en un proceso de restablecimiento directo de la comunidad existente antes del fuego, dada la capacidad de persistencia de las especies predominantes. A este proceso de regeneración se lo conoce como autosucesión y el mismo fue observado en las imágenes post incendio a través de las áreas con crecimiento de vegetación.

Teniendo en cuenta el tipo de vegetación que se desarrolla en el área de estudio, y según las características geopedológicas y climáticas mencionadas anteriormente, es importante señalar que la vegetación es vulnerable a presentar bajos índices de humedad. A mayor concentración de combustible y menos humedad, mayor será la vulnerabilidad del ambiente a sufrir el riesgo de incendio.

5.1.3 Factor Socioambiental

Según un relevamiento del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, Córdoba es la segunda provincia con más bosques nativos afectados por incendios derivados de las sequías. En la provincia, las áreas de mayor riesgo de incendios por condiciones climáticas y geográficas son: el norte, el noroeste y las zonas serranas que es donde a la vez se concentra el bosque nativo remanente que queda en pie (Colautti, 2018). Ello hace referencia a que la sequía puede ser un factor natural desencadenante de los incendios y ambos de la mano se caracterizan por ser una problemática socioambiental muy marcada en la localidad de Achiras. Una de las grandes

consecuencias de esto es la disminución notable de la llegada de turistas a la localidad con alto impacto en la principal actividad económica del área que es el turismo.

Luego de la ocurrencia de un periodo de sequía o un incendio, la población continúa con una mayor cantidad de inconvenientes que impiden la estabilidad en la localidad. La generación de cantidades significativas de cenizas, producto de la gran pérdida de vegetación, produce la contaminación del agua superficial, utilizada con fines recreativos, actividad ganadera y consumo. Así como también, se produce un daño significativo en las aguas subterráneas, utilizadas para el consumo humano y agropecuario. En frente a esta situación, la sociedad tiene que buscar otros medios para acceder al agua de consumo.

Por otro lado, teniendo en cuenta la sequía e incendios, también es importante la pérdida de vegetación. Esta es capaz de filtrar y limpiar el agua, amortiguar lluvias fuertes que, de otra manera, erosionaría los suelos, y a su vez mantiene en cauce los bancos de los ríos. Además, la vegetación tiene un gran potencial: el de recoger y almacenar agua de lluvia y evitar así, que haya desbordamientos hacia los márgenes de los cursos de agua. Luego del incendio del 2009, se produjeron inundaciones en el balneario de la localidad, producto de estos desbordamientos, siendo el daño más significativo la pérdida de un puente de gran altura.

Otra problemática de gran importancia en la localidad es el agua de consumo. El recurso, del cual se satisfacen las necesidades de agua potable, depende directamente del caudal del Arroyo Achiras, que éste a su vez depende de las precipitaciones. La potabilización del agua se realiza en la planta potabilizadora de la localidad. Es importante agregar que la infraestructura de la planta potabilizadora no se ha modificado, más allá del agregado de algún tipo de bomba. Este realmente es un problema, debido a que cuando se creó la planta potabilizadora en el año 1973, estaba preparado para una cierta cantidad de habitantes, si bien tuvieron en cuenta el crecimiento del pueblo, no consideraron que el pueblo creciera como lo está en la actualidad. A su vez, la localidad es una zona turística, esto significa que en la temporada de noviembre a febrero la cantidad de consumo de agua potable se ve notablemente incrementado. Como el recurso hídrico depende directamente de la cantidad de precipitaciones, este corre el riesgo de que en algunas épocas baje el caudal. Ante esta problemática, la cooperativa y el municipio consideran como idea que sería apta la captación de agua desde el Dique Achiras, ya que la posibilidad de realizar perforaciones para aumentar el caudal es muy baja. Estudios realizados por la Cooperativa local demostraron que los acuíferos en roca no tienen las suficientes reservas de agua para solventar el suministro en la población. De esta manera queda como única solución el bombeo del agua del Dique anteriormente mencionado, pero si la problemática de la falta de precipitación continúa, el caudal presente en el Dique también se ve afectado.

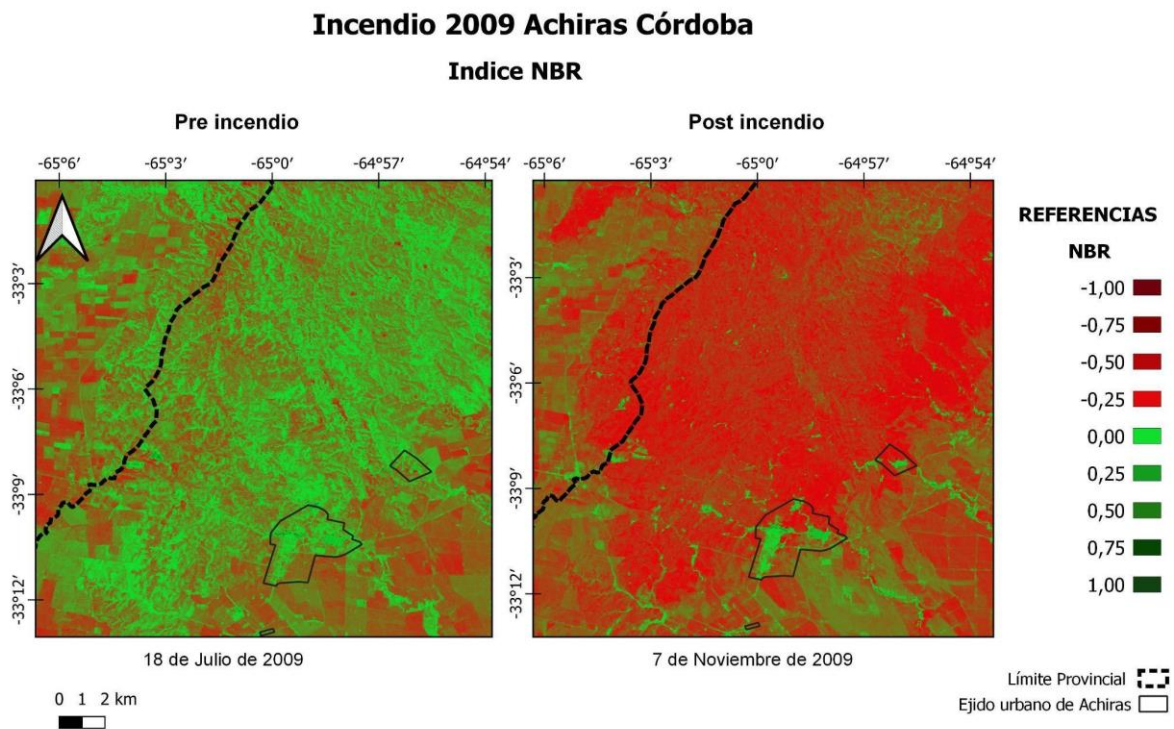
Los habitantes de la población manifiestan que en el año 2009 hubo una gran sequía, donde la falta de agua era notable y además el pueblo contaba con la visita de una gran cantidad de turistas. Debido a que el caudal de agua no era suficiente, la misma se bombeo desde el dique. La coloración de la misma era marrón, con olor desagradable. Se utilizaba este líquido para regadío, para lavar y

para aseo personal. Mientras que, para el consumo, la población se veía obligada a adquirir agua mineral.

Teniendo en cuenta las problemáticas mencionadas se consultó a los bomberos de la localidad acerca de la preparación de la población frente a estos eventos. Mediante las entrevistas se obtuvo que: la población no cuenta con un plan de prevención de incendios y frente a la ocurrencia del mismo los bomberos se encargan de evacuar a la población y controlar de ser necesario, además de mitigar los focos de incendio. La policía local colabora con los mismos, pero no funciona un departamento de defensa civil en la localidad. A su vez, es de destacar que otra de las actividades de las cuales se encargaban los bomberos era la de concientización a la población acerca de la prevención de accidentes, la preparación de la casa y la parcela para reducir el riesgo de incendio, y actividades de enseñanza de primeros auxilios. Esto lo realizaban en las escuelas y a través de los medios de comunicación local, pero dejó de hacerse hace varios años.

5.2. Análisis de los geindicadores de estado y construcción de mapas

De acuerdo a la Figura 15, a partir del índice NBR, se determina que el incendio del 2009 fue de gran magnitud. Esto se puede afirmar por la gran extensión de tonalidades rojizas que toma la imagen post incendio.



Elaboración: Torres Rocío Magalí, 2022

Figura 15. Índice de NBR aplicado sobre el incendio del 2009 en Achiras, Córdoba.

A través de la imagen del 18 de Julio del 2009 (pre incendio), se destaca un área de gran verdor, que indica la presencia de vegetación sana donde la imagen toma valores entre 0,0 y 1,0. Teniendo en cuenta su histograma (Figura 16), existe una mayor frecuencia de datos que caen sobre -0,15. En relación a la imagen tomada el 7 de noviembre del 2009 (post incendio), se destaca una menor vigorosidad y se observa una gran extensión de superficie de área quemada, donde en la imagen toma valores muy cercanos a -1,0. Teniendo en cuenta su correspondiente histograma (Figura 17), existe una mayor frecuencia de datos que caen sobre -0,2 además de que el mismo se encuentra desplazado hacia la izquierda, indicando mayor frecuencia de valores negativos.

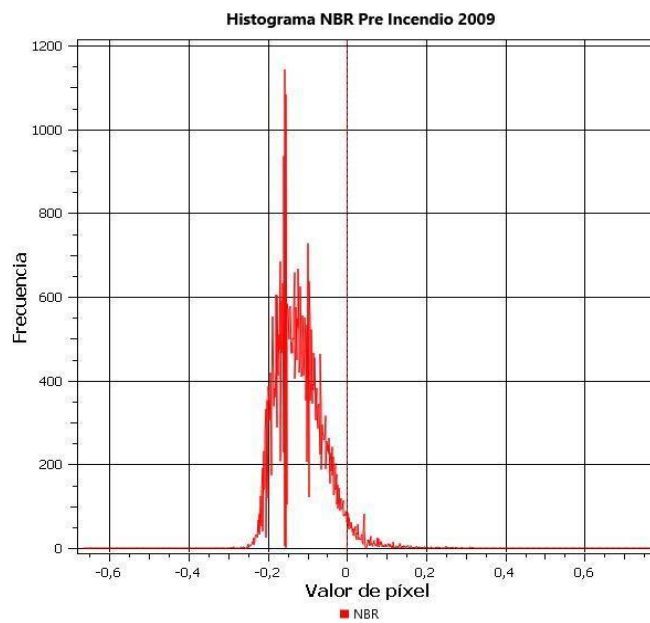


Figura 16. Histograma correspondiente al índice de NBR aplicado antes del incendio del 2009.

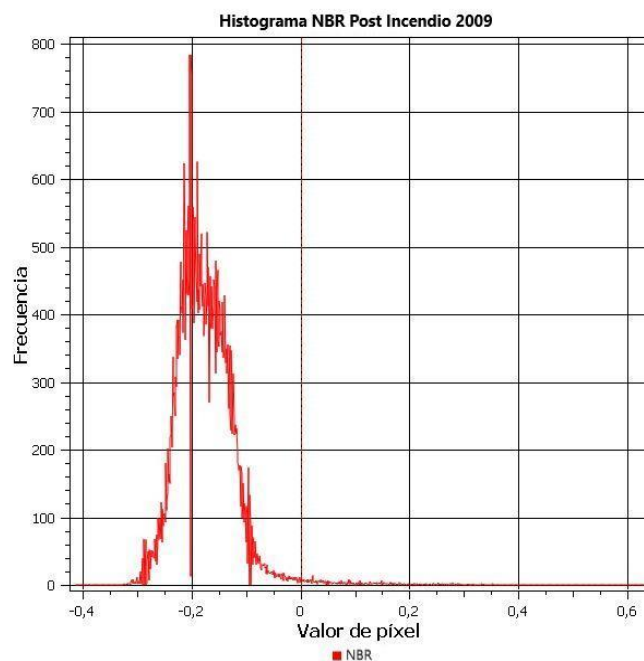


Figura 17. Histograma correspondiente al índice de NBR aplicado después del incendio del 2009.

En relación a las dos imágenes correspondientes al 2020, tomadas también antes y después del incendio (Figura 18), se visualiza que en el pre incendio no se observa tanta vigorosidad ni verdor como en la imagen previa del 2009. Se destacan mayores valores en tonalidades rojas oscuras, acercándose a valores entre -0,75 y -1. Esto indicaría que antes del incendio ocurrido ese año, existía una gran cantidad de superficie en fase de regeneración o con vegetación poco activa.

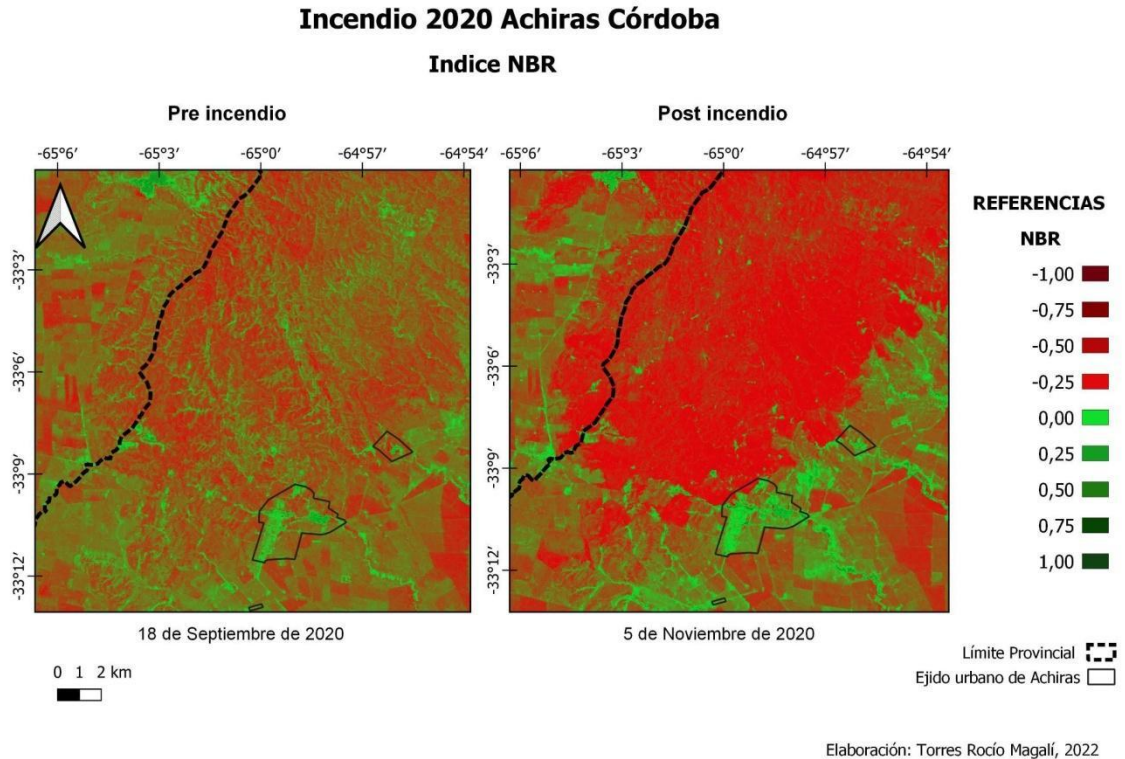


Figura 18. Índice de NBR aplicado sobre el incendio del 2020 en Achiras, Córdoba.

Teniendo en cuenta el histograma (Figura 19), la mayor cantidad de datos se encuentran en un rango entre -0,1 y -0,2.

Posterior al incendio, se destaca en la imagen una gran superficie afectada por el fuego, esto se visualiza por las tonalidades rojizas que toma el mapa, en donde los valores se encuentran en un rango entre -0,25 y -0,50. En base a su histograma (Figura 20), se observa que el mismo se encuentra más desplazado hacia la izquierda comparado con la Figura 19, demostrando una mayor frecuencia en valores negativos.

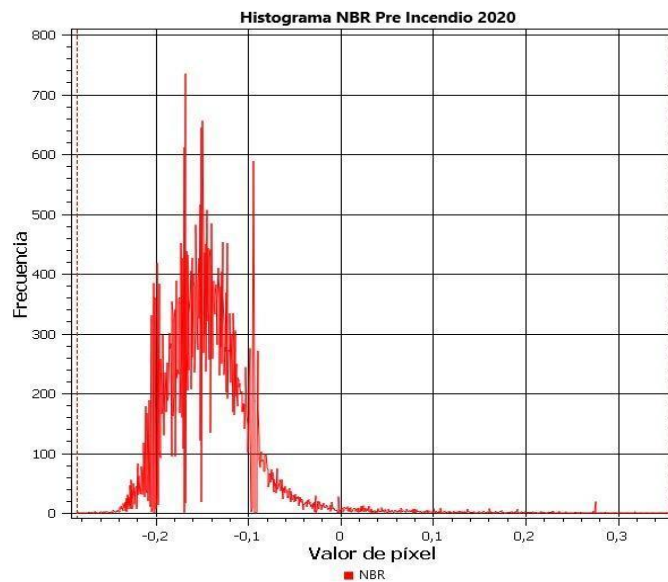


Figura 19. Histograma correspondiente al índice de NBR aplicado antes del incendio del 2020.

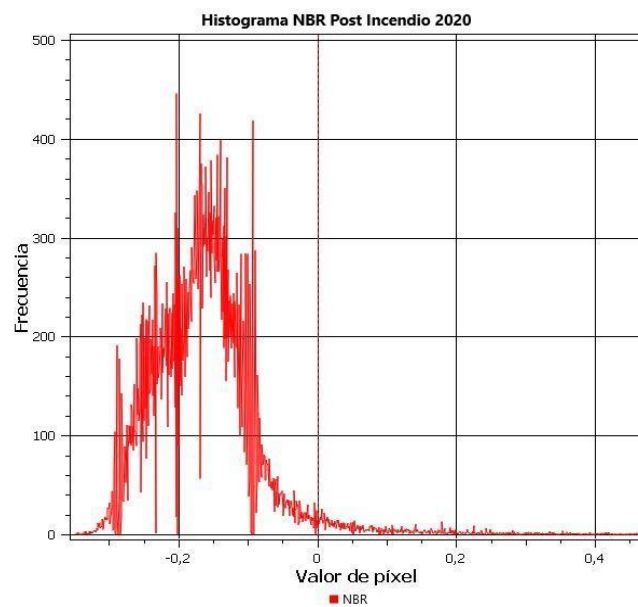


Figura 20. Histograma correspondiente al índice de NBR aplicado después del incendio del 2020.

Con la finalidad de establecer una comparativa entre los momentos pre y post incendio en ambos años, se aplicó la diferencia de NBR (dNBR) con la finalidad de determinar la situación luego del evento, e identificar el grado de severidad del mismo.

Sobreponiéndose sobre el mapa de **dNBR** del 2009 (Figura 21), se observa una gran extensión de superficie que presenta valores entre 0,1 y 0,27 representando zonas quemadas con gravedad baja, en colores naranjas. A su vez, se visualiza en la imagen pequeñas zonas quemadas con gravedad alta en colores rojos, que toman valores en un rango entre 0,27 y 0,44. Es importante

destacar que dentro del ejido urbano se observan valores de zonas quemadas con gravedad moderada e incluso en menor medida con gravedad alta. Esto indica que el incendio logró ingresar al ejido urbano, sobrepasando los límites de interfase. Además, se observa una gran cantidad de zonas estables o sin quemar. Por otro lado, no se detectan en la imagen áreas con crecimiento de vegetación posterior al fuego.

En relación al mapa de dNBR del 2020 (Figura 22), se determinó que existen zonas que toman valores entre 0,10 y 0,27 en colores naranjas, representando zonas quemadas con gravedad baja. No se observan en la imagen áreas quemadas con gravedad alta en colores rojizos. A su vez, teniendo en cuenta los límites del ejido urbano, no se registraron zonas quemadas, permitiendo establecer que los focos se mantuvieron en los límites del ejido, siendo un incendio de interfase. También se detecta en la imagen áreas con crecimiento de vegetación posterior al fuego. Esto permite determinar que el incendio ocurrido en el 2020 no fue de la misma severidad que el del 2009, debido a que solo se registraron zonas quemadas con gravedad baja y moderada. Por último y no menos importante se visualiza que en el año 2020 existen áreas con crecimiento de vegetación posterior al incendio, mientras que en el año 2009 este hecho no sucedió.

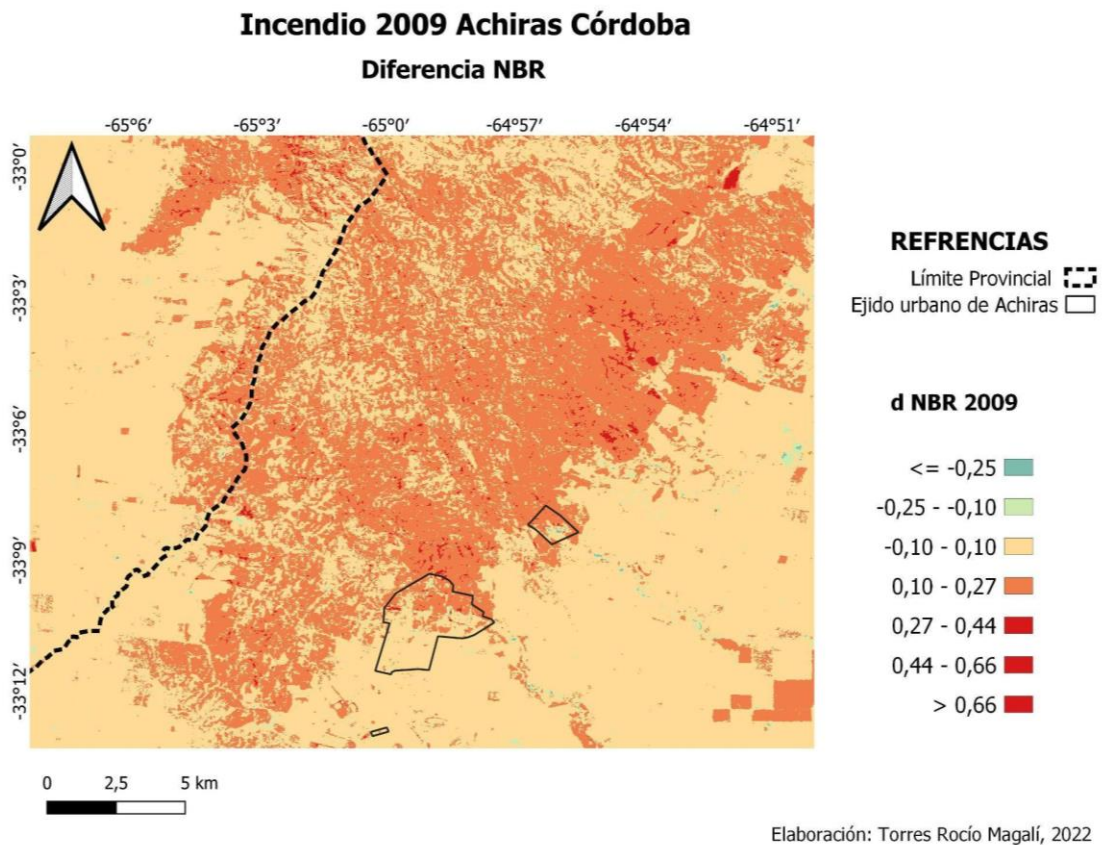


Figura 21. Diferencia de NBR aplicado sobre el incendio del 2009 en Achiras, Córdoba.

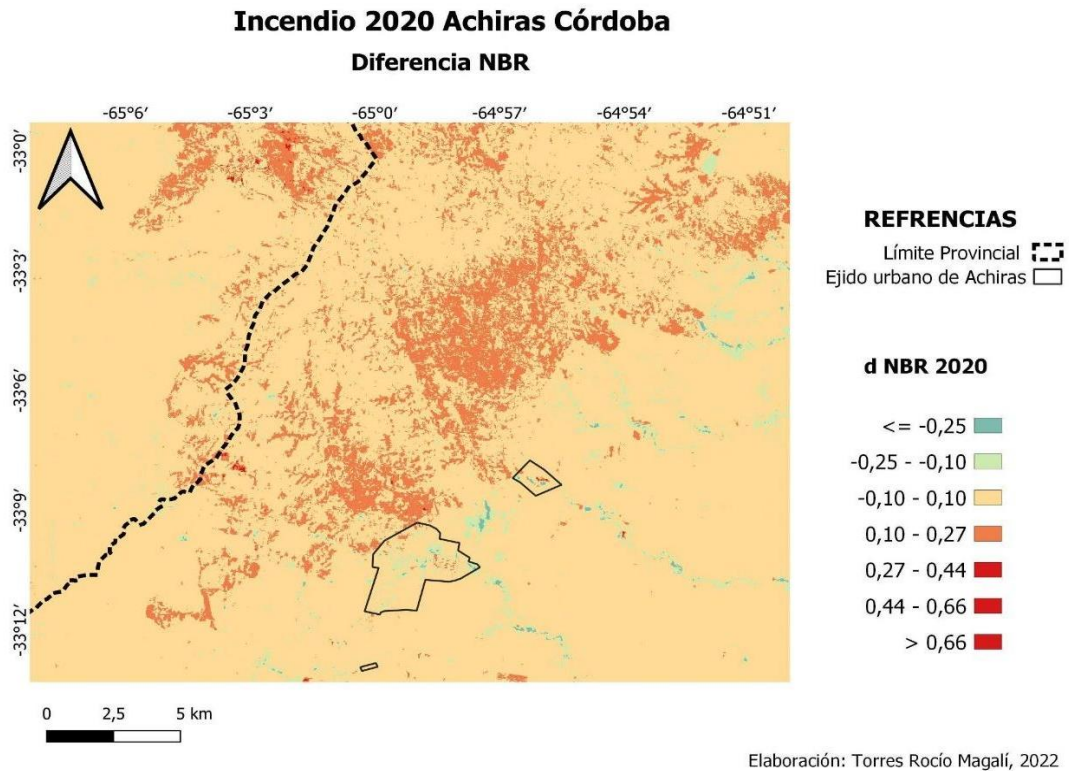
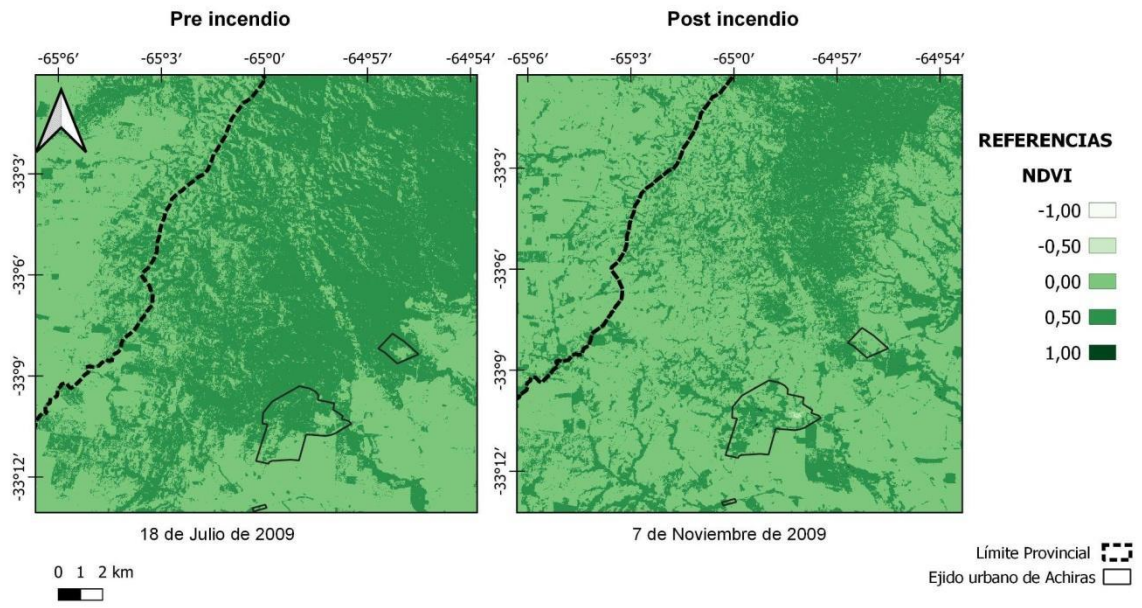


Figura 22. Diferencia de NBR aplicado sobre el incendio del 2020 en Achiras, Córdoba.

De acuerdo a la Figura 23, a partir del índice NDVI del año 2009, se observa que en la fecha del 18 de Julio (pre incendio) se determina una mayor densidad de vegetación. Es importante destacar la gran vegetación que existe en la zona de las Sierras Comechingones y también la que se encuentra dentro del ejido urbano. Teniendo en cuenta su correspondiente histograma (Figura 24), se identifica que los valores del píxel se encuentran en un rango entre 0,1 y 0,3. En relación a la imagen del 7 de Noviembre (post incendio), se observa una menor densidad de vegetación y los valores se acercan a 0 representados por un tono verde claro. De acuerdo a la Figura 25, se observa que la frecuencia de datos entre 0,1 y 0,2, disminuyó en relación al histograma del pre incendio. Esto significa que la densidad de vegetación se caracteriza por ser del tipo arbustiva, es decir de poca altura (determinado por el rango 0,1 – 0,2) y que no ocurrió una modificación en el tipo de vegetación si no en su densidad, luego del incendio.

Incendio 2009 Achiras Córdoba Índice NDVI



Elaboración: Torres Rocío Magalí, 2022

Figura 23. Índice de NDVI aplicado sobre el incendio del 2009 en Achiras, Córdoba.

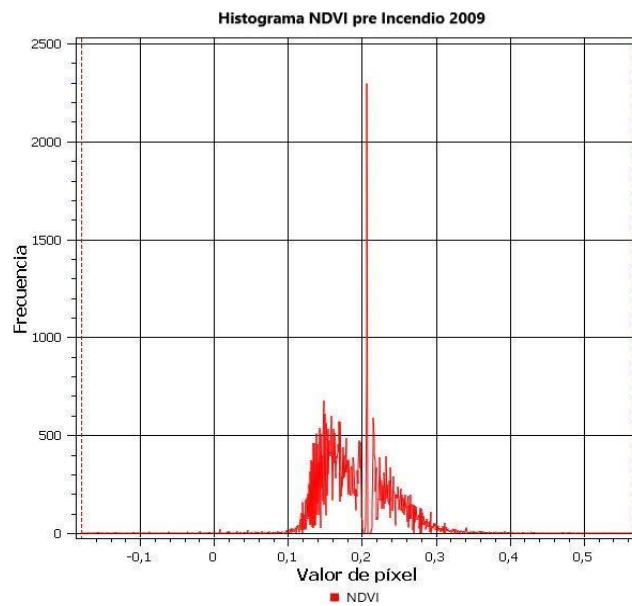


Figura 24. Histograma correspondiente al índice de NDVI aplicado antes del incendio del 2009.

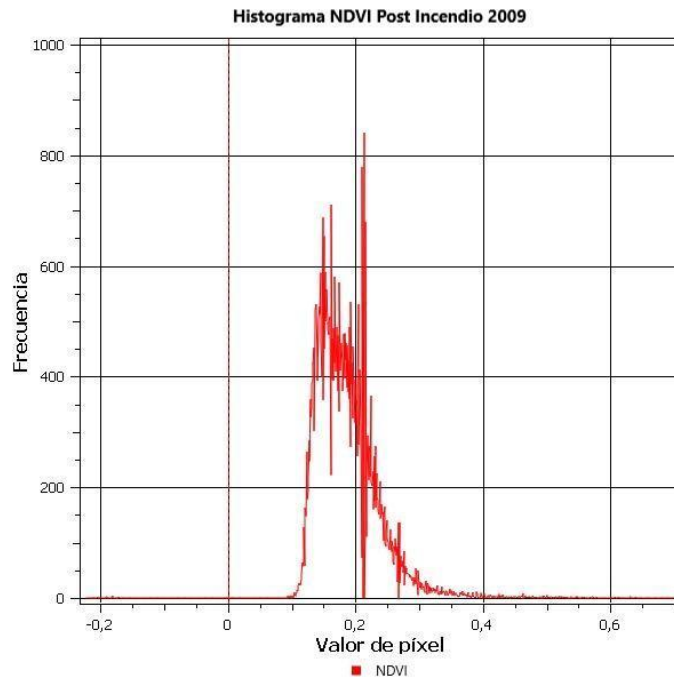


Figura 25. Histograma correspondiente al índice de NDVI aplicado después del incendio del 2009 en Achiras, Córdoba.

En relación a las dos imágenes correspondientes al incendio del 2020, tomadas antes del incendio y luego del suceso (Figura 26), se determina que antes del incendio existía una menor densidad de vegetación que en el pre incendio del 2009, esto se visualiza por las tonalidades verdes de la imagen. Lo mismo, se traduce a que antes del incendio del 2020 existía menor densidad de material combustible que el 2009. Es necesario tener en cuenta que de acuerdo con la fecha de la imagen (18 de septiembre), la vegetación no se encontraba en abundancia debido al periodo estacional, ya que estaba ocurriendo la transición estacional del invierno a la primavera. Teniendo en cuenta su correspondiente histograma (Figura 27) existe una mayor frecuencia de datos tomados en el rango 0,1 – 0,2 indicando vegetación del tipo arbustiva.

Con respecto a la imagen tomada después del incendio de ese mismo año, se observa una menor vegetación en la zona donde ocurrió el incendio de acuerdo a lo que establece el índice de NBR. Pero en las zonas donde no llegó a alcanzar los focos, no hubo pérdida de vegetación, demostrando que la misma siguió en crecimiento y las tonalidades se destacan por ser más verdes debido al rebrote de primavera de acuerdo a la fecha de la segunda imagen. Es decir que, la severidad del incendio del 2020 no fue la misma que en el del 2009 de acuerdo a lo que determina el índice calculado NBR y que incluso fue posible, que luego de la ocurrencia del incendio del 2020, se presenten áreas con crecimiento de vegetación. Es por esto que la imagen post incendio indica mayor verdor que la de pre incendio. Teniendo en cuenta el histograma del post incendio (Figura 28) el mismo indica una mayor frecuencia de datos en un rango sobre 0,15 y 0,25 indicando también

vegetación del tipo arbustiva, de todas maneras la frecuencia de los valores es menor que en el histograma del pre incendio.

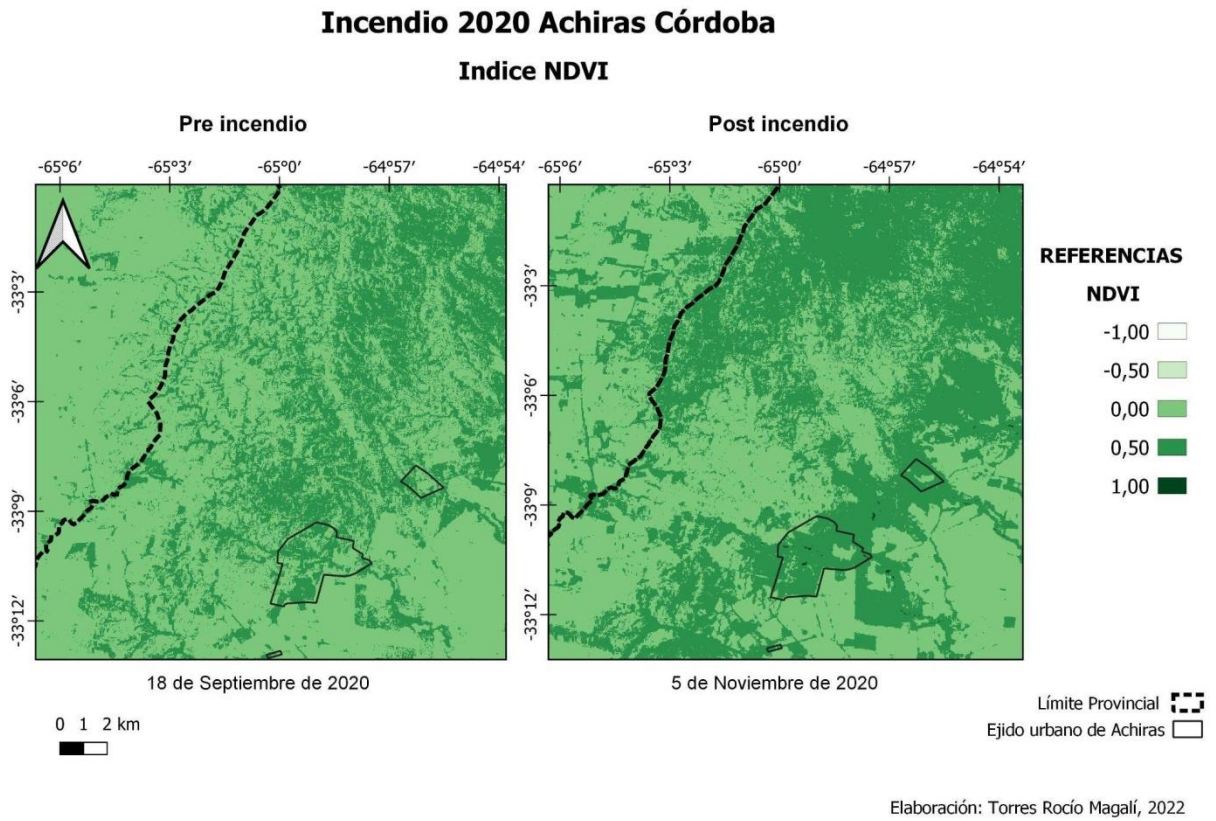


Figura 26. Índice de NDVI aplicado sobre el incendio del 2020 en Achiras, Córdoba.

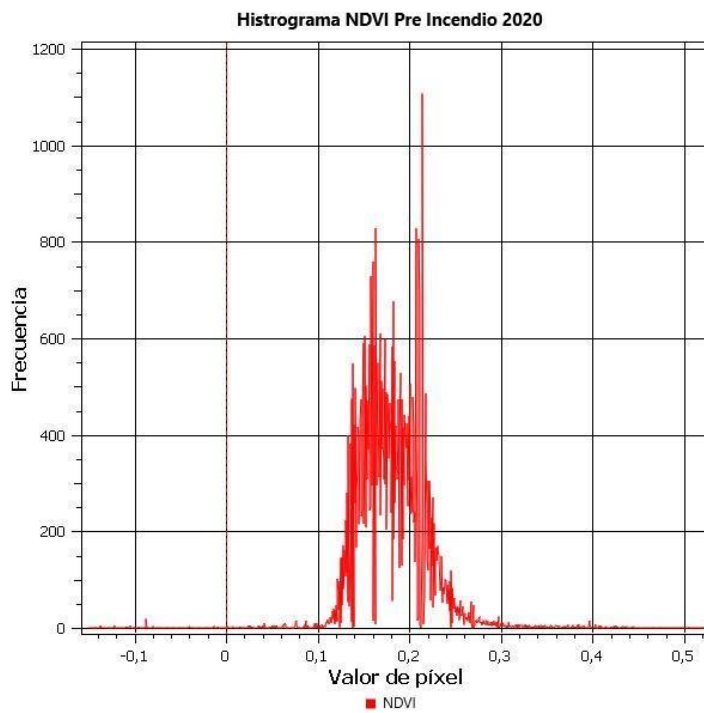


Figura 27. Histograma correspondiente al índice de NDVI aplicado antes del incendio del 2020.

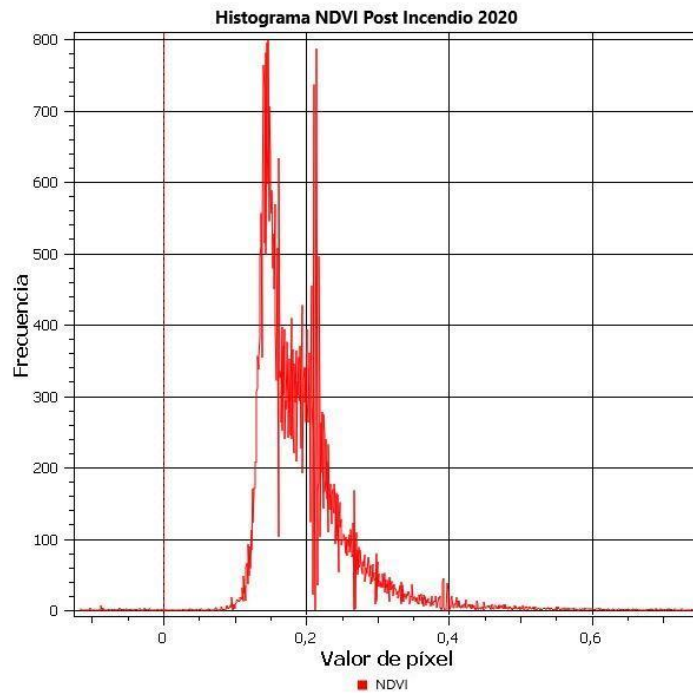


Figura 28. Histograma correspondiente al índice de NDVI aplicado después del incendio del 2020.

Para poder determinar la severidad de los incendios en cuanto a la pérdida de vegetación, se llevó adelante la diferencia de NDVI (dNDVI), el mismo fue aplicado sobre el incendio del 2009 y 2020, estableciéndose una diferencia entre el pre incendio y post incendio de cada año.

En un principio y teniendo en cuenta el mapa dNDVI del 2009 (Figura 29) se observa que existe una gran superficie de zonas quemadas con gravedad moderada-alta, identificadas con valores en un rango entre 0,03- 0,18 representadas con tonalidades naranjas. A su vez, se detectan zonas quemadas con gravedad alta representadas en tonalidades de color rojo. Es importante destacar que las zonas quemadas también se resaltan dentro del ejido urbano, caracterizándose por ser zonas quemadas con gravedad moderada - alta. También se detectaron zonas estables o sin quemar. Prácticamente no se visualizan zonas con crecimiento de vegetación posterior al fuego.

Por otro lado, en el incendio del 2020 y teniendo en cuenta su correspondiente mapa de dNDVI (Figura 30) se logra identificar que existe una gran superficie de zonas estables o sin quemar. También se visualizan zonas quemadas con gravedad moderada alta representadas con tonalidades naranja, pero estas zonas son menores a las de la dNDVI del 2009. No se detectaron zonas quemadas con gravedad alta. Con respecto a los límites del ejido urbano, no se visualizan zonas quemadas. Por último, se puede agregar la existencia de zonas con bajo crecimiento de vegetación posterior al fuego.

Comparando ambas imágenes se logra determinar que la magnitud del incendio del 2009 fue mayor al del 2020, perdiendo una gran densidad vegetal de la zona. Esto se puede afirmar por

la gran extensión de zonas estables o sin quemar de la imagen del 2020 (representadas en color amarillo), comparadas con la mayor extensión de zonas quemadas con gravedad moderada alta del 2009 (representada en naranja). A su vez, es necesario considerar y relacionándolo con las imágenes de NDVI, en el incendio del 2009 se arrasó con la vegetación dentro del ejido urbano, mientras que en el del 2020 no se perdió la vegetación dentro del ejido e incluso se determinó el crecimiento de vegetación posterior al incendio.

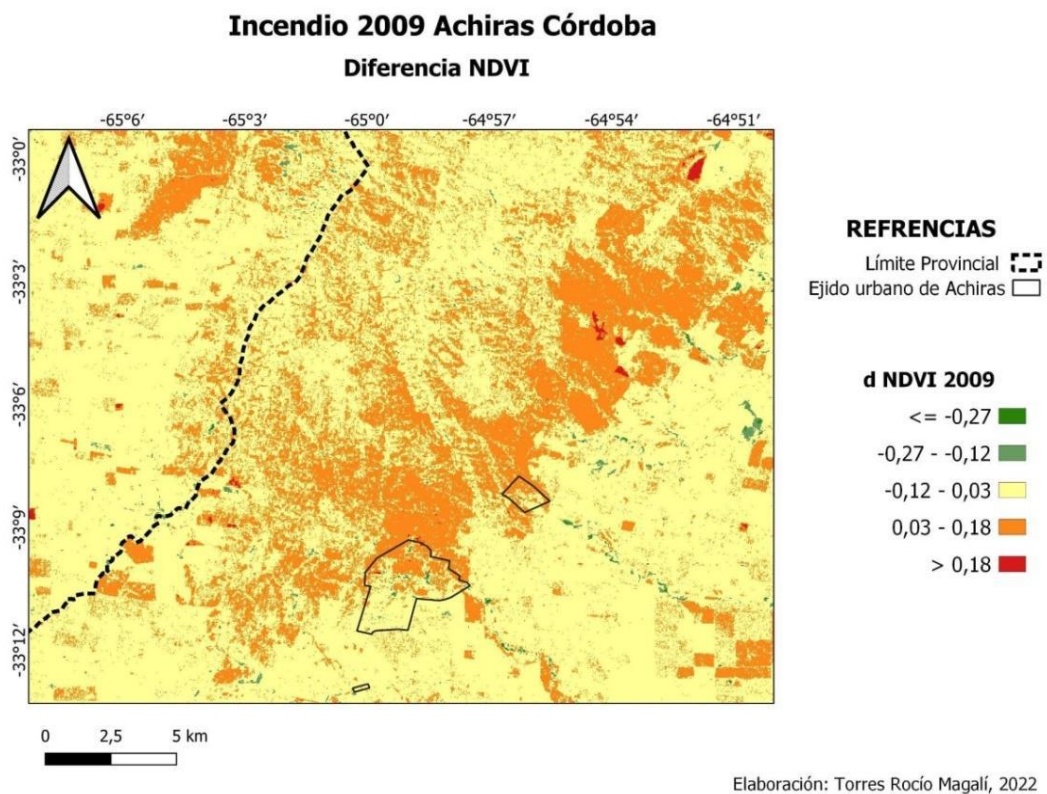


Figura 29. Diferencia de NDVI aplicado sobre el incendio del 2009 en Achiras, Córdoba.

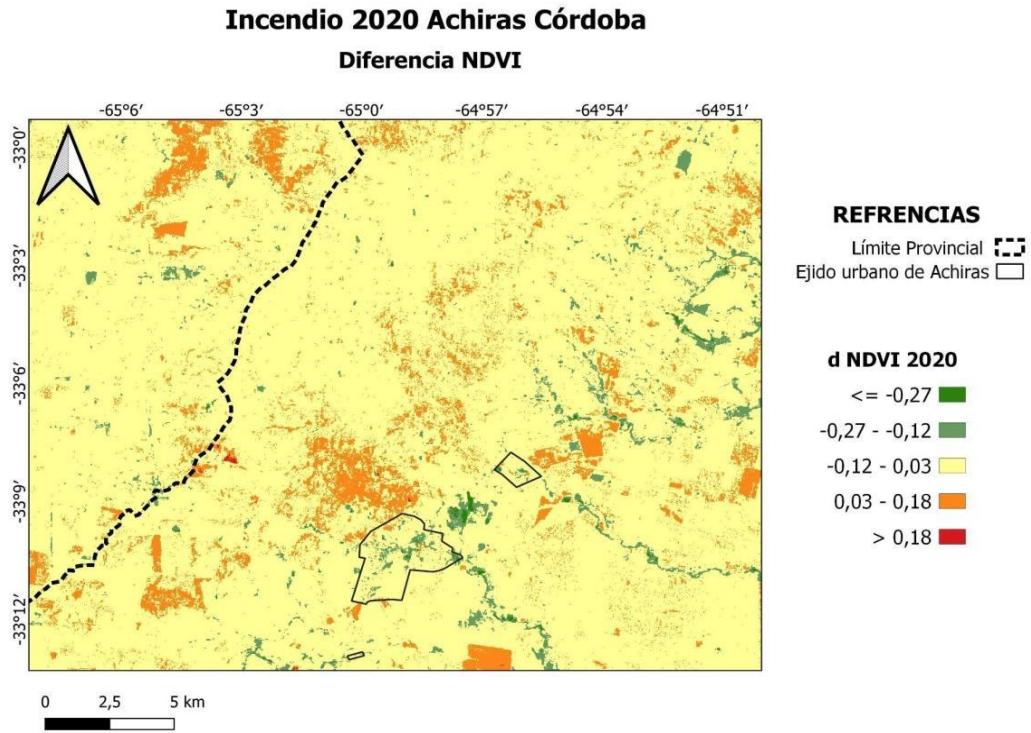


Figura 30. Diferencia de NDVI aplicado sobre el incendio del 2020 en Achiras, Córdoba.

5.3. Análisis de información y entrevistas a los Bomberos

A través de la visualización de videos ofrecidos por el ex intendente de la localidad y miembro de bomberos del cuartel local (Jorge Otamendi, comunicación personal, 2022), se logra confirmar y tener en cuenta como datos que el incendio ocurrido en el año 2009 se inició en Santa Isabel (provincia de San Luis) y se dirigió hacia la localidad de Achiras atravesando las sierras Comechingones. El total de kilómetros recorrido del incendio fue de 20 Km, y logró llegar a la población en un tiempo aproximado de 2 horas (Figura 31).



Figura 31. Recorrido del incendio del 2009. Fuente: Video (Otamendi, 2009).

La velocidad del recorrido se debió principalmente a la velocidad del viento, que se encontraba a los 80 km/h y a su vez a la gran cantidad de material combustible presente (Figura 32). De acuerdo a lo mencionado por los bomberos, una de las causas de la presencia de material combustible, se debió a la disminución de la presencia de fauna local ya que la misma cumplía la función de consumir la vegetación y controlar su crecimiento. La disminución de la fauna favoreció el desarrollo de la vegetación pudiendo convertirse luego en material combustible disponible como sucedió durante el evento del 2009. En el año 2020 ocurrió algo similar con el material combustible y las condiciones climáticas, pero como se pudo observar en las imágenes satelitales, la densidad vegetacional no era la misma a la inicial del incendio del 2009.



Figura 32. Material combustible incendio 2009. Fuente: Video (Otamendi, 2009).

El material combustible y las condiciones climáticas permitieron que el incendio se transforme en un “incendio de copa” siendo el mismo un fuego que se propaga por las copas de los árboles (Figura 33). A causa de esto, el incendio llegó con una gran rapidez a los límites del ejido urbano y a causa de su descontrol debido a los vientos, atravesó el mismo, llegando a la población (Figura 34 y 35). A causa de esto, se evacuaron 27 personas, se dañaron 4 viviendas y una se quemó por completo. Mientras que el incendio del 2020 no llegó a ocasionar daños dentro de los límites del ejido urbano.

Por último, es necesario tener en cuenta lo que señalan los bomberos, manifestando que del total de 17 focos de incendios activos que tenía la provincia en el año 2009 incluyendo Achiras, solo uno fue iniciado accidentalmente, debido a la rotura de un tendido eléctrico, mientras que los demás focos fueron iniciados de manera intencional. Esto fue imposible de evitar a pesar de la existencia de cartelera específica sobre los incendios (Figura 36) y la correspondiente educación y concientización. En el año 2020 ocurrió lo mismo según lo indican el cuartel de bomberos de la localidad.



Figura 33. Incendio del 2009. Fuente: Video (Otamendi, 2009).



Figura 34. Imagen del área quemada en el incendio 2009 de la localidad de Achiras. Fuente: Video (Otamendi, 2009).



Figura 35. Imagen del incendio 2009 en el área urbana de la localidad. Fuente: Video (Otamendi, 2009).



Figura 36. Imagen del incendio del 2009 en el balneario Achiras. Fuente: Video (Otamendi, 2009).

A pesar de que ambos incendios presentaron un día de mayor actividad (13 de agosto del 2009 y 5 de octubre del 2020), ocurrieron en un periodo de días. Debido a esto los bomberos trabajaron de manera continua, sin descanso (Figura 37). En el año 2009 la cantidad de bomberos que presentaba el cuartel era menor al del 2020 y a la que presenta en la actualidad. A pesar de esto, siempre se contó con la ayuda de los demás cuarteles de la provincia, sobre todo en el incendio del 2020 para evitar que el incendio llegara a la localidad y ocurriera lo mismo que en el 2009. En ambos años la pérdida de flora y fauna local fue extrema (Figura 38), no se realizó un relevamiento post incendio para determinar la cantidad exacta del reservorio genético local perdido.



Figura 37. Imagen del incendio 2009 con bomberos trabajando. Fuente: Video (Otamendi, 2009).



Figura 38. Imagen del incendio del 2009 sobre la fauna local. Fuente: Video (Otamendi, 2009).

6. CONCLUSIONES

A partir del estudio desarrollado acerca de los eventos de incendio del 2009 y 2020 en la localidad de Achiras es posible concluir que:

- Achiras se encuentra en una zona vulnerable a los incendios forestales por sus características biogeográficas, geopedológicas, climáticas y accionar humano.
- Las variables climáticas como altas temperaturas, intensos vientos en época estival, así como escasos registros de precipitación en los años 2009 y 2020, que se alejan de las medias de cada variable de la serie, determinan un alto riesgo de incendio.
- El bajo desarrollo pedogenético en el área determina que la baja retención de humedad aumenta el riesgo de incendio de interfase en la localidad de Achiras.
- Las condiciones climáticas y características geopedológicas determinan que la vegetación de tipo pastizal se convierta en material combustible y aumente el riesgo de incendio.
- La irresponsabilidad del accionar humano condiciona la frecuencia de incendios, convirtiéndolos en amenazas socio-naturales.
- Achiras presenta una gran vulnerabilidad natural y antrópica frente a la amenaza de incendios debido a la ausencia de políticas de previsión y prevención.
- Los eventos de incendio afectan al medio natural y a la actividad económica de la población, lo cual compromete la subsistencia de los productores rurales y la estética del paisaje.
- Los cambios de reflectividad en las imágenes satelitales, muestran la alteración de la cubierta vegetal con reducción de clorofila y contenido de humedad, lo cual incrementa el porcentaje de suelo descubierto y carbonizado.
- La teledetección es una herramienta alternativa muy sólida para cartografiar áreas quemadas, ya que proporciona una cobertura espacial y temporal suficientemente detallada, así como información espectral que permite la separación de las áreas quemadas respecto a otros tipos de coberturas.
- La implementación de geoindicadores espectrales permite visualizar una mayor severidad en el incendio del 2009 que en el 2020 en el área, y caracterizar al primero como un incendio de interfase.
- Los resultados obtenidos dan cuenta de la importancia de las herramientas utilizadas para un mayor entendimiento del comportamiento del fuego, lo que permite a su vez generar productos e información valiosa para la toma de decisiones.

7. CONSIDERACIONES FINALES

Los combustibles son el único elemento que el humano puede manipular, por lo que es necesario conocer su carga, así como su calidad y distribución. La falta de información sobre la cantidad y calidad de biomasa forestal, como así también características geopedológicas y condiciones climáticas, ocasiona que se tomen malas decisiones para la ejecución de estrategias de manejo de incendios forestales. Debido a esto, se considera que es fundamental para la localidad, tanto habitantes como para las autoridades, que puedan acceder a una educación ambiental propicia y completa sobre: medidas de prevención de incendios, actividades sobre evacuación en caso de incendio, capacitación en primeros auxilios, enseñanza sobre el uso de matafuegos, proyectos de cuidados del agua y una comunicación constante por parte de los Bomberos hacia la comunidad sobre el riesgo de incendios.

También se considera importante la comunicación a través de carteles y folletos en la localidad, tanto para los habitantes de la misma como para los visitantes, debido a que no muchos turistas son conscientes de la realidad de la localidad.

Por otro lado, es fundamental para llevar a cabo la correcta toma de decisiones con el objetivo de lograr una disminución de la vulnerabilidad en la localidad, una correcta previsión y prevención a través de un completo estudio Geoambiental que permita conocer las características físicas, biológicas y socioeconómicas del área.

Es importante mencionar que se trabajó sobre un área específica sobre las sierras de Comechingones en la provincia de Córdoba, de acuerdo con esto es posible continuar con la metodología propuesta para el análisis de otros eventos en otras zonas, o en la misma, debido a que los incendios de ambos años se caracterizaron por su extensión y por ser de una gran relevancia para la provincia.

A los índices utilizados en este estudio (NBR, NDVI, dNBR y dNVI) que son herramientas extrapolables, se los puede combinar con otros según los resultados que se busquen obtener.

El análisis de los factores: vegetación, geopedológico, socioambientales y climáticos puede ampliarse y utilizarse en futuras investigaciones.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Achiras Somos Todos Reserva Las Lajas.(s.f.) <http://achirasturismo.com.ar/contenido/3/reserva-natural-las-lajas>.
- Achiras somos todos. (s.f). <http://achiras.gov.ar/achiras>
- Achiras Somos Todos. (s.f). Parque Eólico Achiras. <http://achirasturismo.com.ar/contenido/94/parque-eolico-achiras>
- Achiras Turismo. (s.f). Presa Achiras. <http://achirasturismo.com.ar/contenido/51/presa-achiras> .
- Aguayo, P. (2013). *Apuntes de Teledetección: índices de vegetación*.
- Alonso, M. C., Castro, M.P., Saccucci, E. (2015). *Conflictividades ambientales en la Córdoba de hoy*. XI Jornadas de Sociología. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Arana, M. D., Natale, E. S., Ferretti, N. E., Romano, G. M., Oggero, A. J., Martínez, G., Posadas, P. y Morrone, J. J. (2021). *Esquema biogeográfico de la República Argentina*. Opera Lilloana 56. Fundación Miguel Lillo. Recuperado de: <http://www.lillo.org.ar/editorial/index.php/publicaciones/catalog/book/253>
- Argañaraz, J. P. (2016). *Dinámica espacial del fuego en las Sierras de Córdoba*. Universidad Nacional de Córdoba.
- Argañaraz, J. P., Radeloff, V., Bar-Massada, A., Gavier, G., Scavuzzo, M., y Bellis, L. M. (2015). *Mapeo y evaluación del riesgo de incendio en la interfase urbano-rural de las sierras de Córdoba*. El Paisaje: Unidad Natural Funcional, Dinámica y Resiliente.V Jornadas y II Congreso Argentino de Ecología de Paisajes Azul, Buenos Aires, Argentina. Pp 1-3.
- Becker, A. (2017). *¿Qué son los indicadores? Manual de Indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Arg.* INTA. Pp. 19-22.
- Blarasin, M., Algozino, R., Alincastro, N., Giuliano Albo, J., Degiovanni, S., y Cabrera, A. (2013). *Análisis del funcionamiento hidrológico del arroyo Achiras- del Gato (Córdoba, Argentina) con una nueva aplicación informática*. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 28 (1). Pp. 25 36 Recuperado de: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652013000100004
- Blarasín, M; A Cabrera; E Matteoda; M Aguirre; H Frontera; L Maldonado; F Becher Quinodoz; J Giuliano Albo; J Felizzia y D Palacio. (2014). *Aspectos litológicos, hidráulicos, cambios de régimen y reservas de los principales acuíferos. En: M Blarasín et a., (eds.). Aguas subterráneas de la provincia de Córdoba*. 1a Ed. Pp. 11-80. Unirío, Río Cuarto, Argentina.
- Bowman, David M. J. S.; Jennifer K. Balch; Paulo Artaxo; William J. Bond; Jean M. Carlson; Mark A. Cochrane; Carla M. D'Antonio; Ruth S. DeFries; John C. Doyle; Sandy P. Harrison; Fay H. Johnston; Jon E. Keeley; Meg A. Krawchuk; Christian A. Kull; J. Brad Marston; Max A. Moritz; I. Colin Prentice; Christopher I. Roos; Andrew C. Scott; Stephen J. Pyne. (2009). *Fire in the Earth System.Science*. Vol. 324. Pp. 481-484. DOI: 10.1126 / science.1163886
- Burrough, P. (1994). *Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment*. Oxford Science.

- Cardona, O. D. (1993). *Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo*. En: A. Maskrey (ed.). Los desastres no son naturales.
- Carignano, C., Kröhling, D., Degiovanni, S. y Cioccale, M. (2014). *Geología de Superficie, Geomorfología*. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino. Pp. 747 – 821.
- Colautti, F. (2018, 7 de julio). Por el fuego, Córdoba perdió 100 mil hectáreas de bosque nativo en 10 años. Representa el 13,5% del total quemado en la última década. Es la segunda provincia más afectada en forestación autóctona. La Voz. <https://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/por-el-fuego-cordoba-perdio-100-mil-hectareas-de-bosque-nativo-en-10-anos/>
- Conci, E. (2018). *Identificación de riesgos ambientales en la llanura fluvioeólica de la región centro del Departamento General San Martín, Córdoba*. Tesis de Grado. Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Básicas y Aplicadas, Universidad Nacional de Villa María, Córdoba. Repositorio Institucional-Universidad Nacional de Villa María.
- Córdoba Turismo, localidad de Achiras: <http://www.cordobaturismo.gov.ar/localidad/achiras/> visitada 24/07
- De Santis, A., & Vaughan, P. (2009). *Revisión de las técnicas de identificación cartográfica de áreas quemadas*. Recursos rurales: revista oficial do Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural (IBADER), (5), 93-100.
- Dindaroglu, T., Babur, E., Yakupoglu, T., Rodrigo-Comino, J., y Cerda, A. (2021). *Evaluation of geomorphometric characteristics and soil properties after a wildfire using Sentinel-2 MSI imagery for future fire-safe forest*. Fire Safety Journal, 122, 103318.
- GAR. (2019) *United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR)*. Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres. Ginebra, Suiza.
- Gilabert, M. A., García – Haro, J., Gonzales-Piqueras, J. (1997). *Acerca de los índices de Vegetación*. Artículo de revista de Teledetección.
- Gorgas, J; J Tassile; B Jarsún; E Zamora; E Bosnero; E Lovera; A Ravelo; M Carnero; V Bustos; J Pappalardo; G Petropulo; E Rossetti y M Ledesma. (2003). *Los recursos naturales de la Provincia de Córdoba: Los suelos*. Agencia Córdoba D.A.C. y T.S.E.M. Dirección de Ambiente- INTA Manfredi.
- Grandis, G. C., Brandi, C.G., Picciani, A. L. y Finola, A. (2014). *Análisis de la amenaza antrópica como componente del riesgo ambiental: estudio de las variaciones sufridas en la vegetación en un área de las Sierras de Comechingones afectada por incendios forestales, Achiras, prov. de Córdoba*. Universidad Nacional de Río Cuarto. Facultad de Ciencias Humanas. Pp. 125 - 145. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11336/3448>
- Heredia Laclaustra, A., Martínez Sánchez, S., Quintero, E., Piñeros, W. y Chuvieco, E. (2003): *Comparación de distintas técnicas de análisis digital para la cartografía de áreas quemadas con imágenes LANDSAT ETM*, Geo Focus (Artículos), nº 3, 2003, p. 216-234. ISSN: 1578-5157.
- Hunosa, G., Aitemin, C. T., y argentino, A. S. G. M. (2016). *Normativa para la Elaboración de Estudios Geoambientales*. Informe Técnico Final. Proyecto SIGAM Segemar Argentina. Asistencia Técnica para el Diseño, la Metodología de Ejecución y la Supervisión del Relevamiento

Sistemático de Información Geoambiental, y para el Diseño y Puesta en Funcionamiento de un Sistema de Información Geoambiental.

- INTA (2022) Mapas de Córdoba: Cartas de Suelo. (S.F).
<https://mapascordoba.gob.ar/viewer/#/mapa/334>
- Keller, E. A. y Blodgett, R. H. (2004). *Riesgos naturales: procesos de la tierra como riesgos, desastres y catástrofes* (No. 363.34 K29r). Madrid, ES: Pearson Educación.
- Landi, M. A. (2018). *Caracterización del régimen de incendios, su relación con el clima y su efecto en la resiliencia y estructura de la vegetación*. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/11336/117532>
- Landsat 7 Science Data Users Handbook. (1972) *Department of the Interior U.S. Geological Survey*. Recuperado de: <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-7-data-users-handbook>
- Lavell, A. (2001). *Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición*. Biblioteca Virtual en Salud de Desastres-OPS, 4, 1-22.
- Llovería, R. M., Cabello, F. P., Martín, A. G., Vlassova, L., & de la Riva Fernández, J. R. (2014). *La severidad del fuego: revisión de conceptos, métodos y efectos ambientales*. *Geoecología, cambio ambiental y paisaje: homenaje al profesor José María García Ruiz*, 427-440.
- López Trigal, L. (2015). *Diccionario de Geografía aplicada y profesional*. Terminología de análisis, planificación y gestión del territorio. Universidad de León.
- Maldonado, G. I; Sosa, E. D. Carmen y Grandis, G. C. (2018) *Territorio usado en el sur de Córdoba: lazos de articulación, cooperación y conflicto*; UniRío; 2018; 89-104. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/11336/132594>
- Mari, N. A., Ahumada, M. D. R., y Pons, D. H. (2021). *Incendios en la Provincia de Córdoba: año 2020*. Agencia de Extensión Rural Cruz del Eje, INTA.
- Mercado, R. D., Moore, M. B., y Moreno, R. D. (2004). *Enciclopedia geográfica de la Provincia de Córdoba*. La Voz del Interior, Córdoba.
- Ministerio de Hacienda Presidencia de la Nación. (2018). Córdoba. Informes productivos provinciales (Informe N° 23)
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_productivo_cordoba.pdf
- NDVI: *Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada*. (s.f). Eos Data Analytics.
<https://eos.com/es/make-an-analysis/ndvi/>
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*.
- Otamendi J. (2009). *Video sobre incendio ocurrido en la Localidad de Achiras, Córdoba*.
- Pagliaricci, L.; Lucero, F. y Maffini, M. (2019). *Producción de territorios turísticos: Trayectorias territoriales y actores. Estudio de caso en la localidad de Achiras (Córdoba)*. XXI Jornadas de Geografía de la UNLP, Ensenada, Argentina. Construyendo una Geografía Crítica y Transformadora: En defensa de la Ciencia y la Universidad Pública. EN: Actas. Ensenada:

Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación.
 Disponible en: https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.13609/ev.13609.pdf.

- Papió, C. (1988). *Respuesta al fuego de las principales especies de la vegetación de Garraf*. Barcelona. Orsis: organismos y sistemas, Pp. 87-103.
- Peña, M. A., y Ulloa, J. (2017). *Mapeo de la recuperación de la vegetación quemada mediante la clasificación de índices espectrales pre-y post-incendio*. Revista de Teledetección, (50): 37-48.
- Pinilla Vargas, D. K. P. (2012). *Influencia del clima, la vegetación y el hombre sobre la frecuencia, intensidad y distribución de los incendios en Argentina*. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires. Recuperado de: <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/especializacion/2016pinillavargasdianakatherine.pdf>
- Plan Estratégico para el Desarrollo Territorial de Achiras, (2018).
- PNRRD, (2018). *Plan Nacional para la Reducción de Riesgo de Desastre 2018 - 2023. Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo(SINAGIR)*. Ministerio de Seguridad de la República Argentina. Pp. 106. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/sinagir/institucional/plan-nacional-reduccion-de-riesgos>
- Presa Achiras. (s.f.) <http://achiraturismo.com.ar/contenido/51/presa>
- Ré, F. (2016, 22 de diciembre). *En base a datos de la campaña 2015/16 del Ministerio de Agricultura y Ganadería, un mapa interactivo que muestra cuántas hectáreas se sembraron, de cada cultivo, por departamento*. La Voz. <https://www.lavoz.com.ar/agro/agricultura/que-se-cultiva-en-cada-departamento-de-cordoba/>
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. y Ludwig, C. (2015). *The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration*. Recuperado de: <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>
- Tavares, A. B., da Cruz, S. P., y de Lollo, J. A. (2007). *Geoindicadores para a caracterização de estado de diferentes ambientes*. Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia, 5(2), 42-57.
- Vargas-Sanabria, D., y Campos-Vargas, C. (2018). *Modelo de vulnerabilidad ante incendios forestales para el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica*. Cuadernos de Investigación UNED, 10 (2), 435-446.