



INFORME DE TRABAJO FINAL DE CARRERA

Efecto de los incendios forestales sobre la pérdida de suelo superficial por erosión hídrica en la Cuenca del Arroyo Ventana.

Partido de Tornquist, Provincia de Buenos Aires.

Alumno: Julián Rodríguez Souilla

Directora: Dra. Fernanda Julia Gaspari

Modalidad: Propuesta de intervención en cualquier ámbito de la profesión

Lugar y Fecha de presentación: La Plata, octubre de 2020

Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas. CEIDE
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
Universidad Nacional de La Plata

Carrera de Ingeniería Forestal

Beca de Estímulo de Vocaciones Científicas. CIN 2019

I. RESUMEN

Los pastizales pampeanos están adaptados ecológicamente a la ocurrencia de incendios. Si bien estos eventos representan un componente natural del ecosistema, el avance de especies exóticas y el manejo de los sistemas agropecuarios han modificado su frecuencia e intensidad. En caso de incendios forestales, el impacto del evento dependerá de la intensidad, recurrencia y duración del mismo, y se manifiesta, sobre todo, al poco tiempo de sucedido el evento.

Este Trabajo Final de Carrera tiene como objetivo estudiar el efecto de los incendios forestales sobre la pérdida de suelo superficial por erosión hídrica en la Cuenca del Arroyo Ventana, Partido de Tornquist, Provincia de Buenos Aires.

Con la utilización de imágenes satelitales y su procesamiento mediante GIS se determinaron áreas incendiadas y variaciones de cobertura en el área de estudio asociada a dichos eventos. La aplicación del modelo USLE permitió estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial comparando entre momentos sin incendios y posteriores a estos. Asimismo, se realizó una estimación de potencial erosivo cualitativo aplicando el método del Número de Curva.

La investigación demostró que incendios en áreas forestales registran mayor severidad que sobre otras coberturas de suelo, y funcionan como reguladores de la superficie boscosa, a la vez que la vegetación herbácea denota una pronta recuperación post incendios, no así en áreas boscosas.

La erosión hídrica superficial actualmente supera los $50 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ en el 58 % de la cuenca. Los incendios en áreas boscosas aumentan aún más la erodabilidad de los suelos que en pastizales, consecuentemente, la vulnerabilidad de estos a la erosión hídrica superficial ante eventos torrenciales. Por su parte, la ventana de perturbación es mayor en el tiempo ante incendios forestales que sobre pastizales.

Por último, se realizó una serie de propuestas para mitigar los efectos erosivos y ecológicos de los incendios, vinculadas a medidas preventivas y de combate.

II. ÍNDICE

CAPÍTULO I INTRODUCCION GENERAL	5
1. INTRODUCCIÓN	5
2. MARCO CONCEPTUAL.....	6
2.1. EFECTO DE LOS INCENDIOS	6
2.2. TELEDETECCIÓN APLICADA AL AMBIENTE	7
3. ANTECEDENTES.....	9
4. FUNDAMENTACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL TEMA DE TRABAJO FINAL DE CARRERA	11
5. OBJETIVO GENERAL	12
5.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
6. HIPÓTESIS	12
7. ÁREA DE ESTUDIO	13
7.1. VEGETACIÓN.....	13
7.2. PARQUE PROVINCIAL ERNESTO TORNUST	13
7.3. USOS DE SUELO	17
7.4. ÁREAS URBANAS	17
7.5. CLIMA	18
7.6. FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	19
7.7. SUELOS	21
7.8. PATRÓN HIDROMORFOLÓGICO Y DRENAJE	23
8. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL	25
CAPÍTULO II IDENTIFICACIÓN, ZONIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ÁREAS AFECTADAS POR INCENDIOS.....	27
1. INTRODUCCIÓN	27
2. MATERIALES Y MÉTODOS	27
2.1. ELABORACIÓN DE MAPA DE USO DE SUELOS.....	27
2.2. IDENTIFICACIÓN DE EVENTOS DE INCENDIOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	28
2.3. BÚSQUEDA DE IMÁGENES SATELITALES CORRESPONDIENTES A LAS FECHAS DE EVENTOS DE INCENDIOS.....	28
2.4. ESTUDIO DE EVENTOS MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES Y APLICACIÓN DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN.....	29
2.4.1. <i>Cálculo de Índices de Vegetación</i>	29
2.4.2. <i>Comparación entre valores de NDVI en momentos estudiados</i>	31
2.5. VARIACIÓN DE VALORES DE NDVI EN PERÍODO 2016 -2020.....	31
2.6. VARIACIÓN DE COBERTURA FORESTAL.....	31
3. RESULTADOS.....	33
3.1. COBERTURAS Y USOS DE SUELO	33
3.2. IDENTIFICACIÓN DE EVENTOS DE INCENDIOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	34
3.3. BÚSQUEDA DE IMÁGENES SATELITALES CORRESPONDIENTES A LAS FECHAS DE EVENTOS INCENDIADOS	39
3.4.A. ESTUDIO DE EVENTOS MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES Y APLICACIÓN DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN. INCENDIO 2013-2014	39
3.4.1. <i>Cálculo de índices de vegetación</i>	39
3.4.2. <i>Comparación entre valores de NDVI en momentos estudiados</i>	42
3.4.B. ESTUDIO DE EVENTOS MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES Y APLICACIÓN DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN. INCENDIO 2018	45
3.4.1. <i>Cálculo de índices de vegetación</i>	45

3.4.2.	<i>Comparación entre valores de NDVI en momentos estudiados</i>	48
3.5.	VARIACIÓN DE VALORES DE NDVI EN PERÍODO 2016-2020	50
3.6.	VARIACIÓN DE COBERTURA FORESTAL.....	52
4.	CONSIDERACIONES FINALES	54
CAPÍTULO III DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL.....		55
1.	INTRODUCCIÓN	55
1.1.	EFECTOS EN ERODABILIDAD DEL SUELO	56
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	57
2.1.	METODOLOGÍA USLE.....	57
2.2.	CÁLCULO DE FACTORES DE USLE.....	61
2.2.1.	<i>Factor Índice de erosión pluvial (R)</i>	61
2.2.2.	<i>Factor de erodabilidad del suelo (K)</i>	61
2.2.3	<i>Factor topográfico (LS)</i>	62
2.2.4.	<i>Factor de ordenación de cultivos (C)</i>	62
2.2.5.	<i>Factor prácticas de cultivo (P)</i>	65
2.3.	CLASIFICACIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELO.....	65
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
3.2.	CÁLCULO DE FACTORES DE USLE.....	67
3.2.4.	<i>Factor Índice de erosión pluvial (R)</i>	67
3.2.5.	<i>Factor de erodabilidad del suelo (K)</i>	67
3.2.6.	<i>Factor topográfico (LS)</i>	70
3.2.7.	<i>Factor de ordenación de cultivos (C)</i>	71
3.2.8.	<i>Factor de prácticas de cultivo (P)</i>	73
3.3.	CLASIFICACIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELO. AÑO 2020.....	74
3.3.4.	CLASIFICACIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELO. INCENDIOS 2013-2014 Y 2018.....	77
4.	CONSIDERACIONES FINALES	86
CAPÍTULO IV ESTIMACIÓN DE RIESGO DE EROSIÓN POR ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL.....		87
1.	INTRODUCCIÓN	87
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	87
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	89
4.	CONSIDERACIONES FINALES.....	95
CAPÍTULO V PROPUESTAS DE MEDIDAS DE MANEJO		96
1.	INTRODUCCIÓN	96
2.	PROPUESTAS.....	98
2.1.	MEDIDAS PREVENTIVAS.....	98
2.2.	COMBATE Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN	103
2.3.	OTRAS MEDIDAS DE RESTAURACIÓN	103
CONCLUSIONES GENERALES.....		105
BIBLIOGRAFÍA		107

CAPÍTULO I

INTRODUCCION GENERAL

1. INTRODUCCIÓN

El manejo de los agroecosistemas afecta la oferta de servicios hidrológicos. Los principales factores que influyen en la reserva y distribución de agua son las precipitaciones (tipo, duración, cantidad, intensidad y frecuencia), la vegetación que incide en la cantidad de agua que llega al suelo (tipo, densidad, cobertura, estructura, entre otros) y el perfil edáfico (textura, estructura, materia orgánica, profundidad) que regula el total de agua disponible para la vegetación y para la recirculación dentro del ciclo hidrológico (Mintegui Aguirre & López Unzú, 1990; Pritchett, 1991).

Los cambios de cobertura y uso del suelo son reconocidos como una de las principales causas de deterioro ambiental, con una influencia muy importante en la dinámica hídrica superficial. En este contexto, la cuenca hidrográfica es la unidad natural de tratamiento integrado y ámbito para la planificación y gestión del desarrollo sustentable, pues abarca todo el complejo biogeomórfico, económico y de relaciones sociales como unidad de planificación y gestión (Gaspari et al., 2009).

Respecto a cambios de cobertura, el aumento de la cantidad y siniestralidad de los incendios forestales en las últimas décadas a nivel mundial ha provocado una mayor atención por parte de los gobiernos en las tareas de prevención. La mejor forma de reducir las consecuencias negativas de los incendios forestales es mejorar las herramientas de prevención con el objetivo de evitar que se desencadene un incendio o cuando suceda limitar su extensión. La prevención se refiere “... *al conjunto de actividades que buscan eliminar o reducir la incidencia de eventos físicos potencialmente dañinos, o sus intensidades*” (Potter & Franco, 1996). La gestión y planificación de las actuaciones en zonas incendiadas para proteger al suelo de la erosión hace necesario en muchas ocasiones tomar decisiones con rapidez y con un nivel de información limitado. En este sentido, el empleo de modelos para predecir la escorrentía y erosión después del fuego puede resultar muy útil para esa tarea (Fernández & Vega, 2011).

La teledetección, práctica de obtener información sin estar en contacto con la cobertura, es una herramienta importante de apoyo para el estudio de diversos fenómenos naturales y antrópicos que se dan sobre la cubierta terrestre, así como de sus efectos ecológicos, climáticos y atmosféricos. Los sensores de diferentes satélites nos proporcionan gran cantidad de datos y una visión sinóptica de la distribución espacial de los incendios (focos activos) y de las zonas quemadas, así como del estado de la vegetación y los efectos producidos por los incendios (Díaz-Delgado, 2000).

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. Efecto de los incendios

En áreas rurales, el reemplazo de coberturas naturales puede sobrevenir por la ocurrencia de incendios. En caso de incendios forestales, el impacto del evento dependerá de la intensidad, recurrencia y duración del mismo, y se manifiesta, sobre todo, al poco tiempo de sucedido el evento. Estos efectos pueden ser directos tales como pérdida de animales, de vegetación y degradación del suelo. Los efectos indirectos, por su parte, corresponden desde la erosión del suelo y la contaminación del agua hasta el ensuciamiento de represas y deslizamientos de tierra. El suelo después de un incendio es susceptible a sufrir erosión, debido a lo expuesto que queda al viento y agua (Caon, 2014, Shakesby, 2011). Las repercusiones en el suelo dependen de la topografía del lugar, intensidad del proceso de erosión, tasa de regeneración de la cubierta vegetal post-incendio, recurrencia, intensidad y duración del fuego. Los principales impactos de los incendios forestales son a nivel de las propiedades (físicas, químicas y biológicas) y productividad del suelo. Estos impactos se traducen en: generación de erosión, pérdida de nutrientes, disminución de la materia orgánica, alteración de la vegetación.

El ciclo hidrológico de una cuenca resulta afectado después de un incendio forestal debido a la pérdida de vegetación, disminución de la materia orgánica y los cambios en las propiedades del suelo, las cuales podrían causar una disminución en las tasas de infiltración, disponibilidad de agua y aumento de escurrimiento (Lloret & Zedler, 2009). Aunque la repelencia al agua es natural en algunos suelos, en algunos casos el fuego puede inducir repelencia o aumentar o eliminar la existente dependiendo de la cantidad y tipo de combustible consumido y de las temperaturas alcanzadas en el suelo. Este fenómeno puede reducir apreciablemente la capacidad de infiltración del suelo, porosidad y aireación, aumentando la escorrentía superficial y haciéndolo más sensible a las pérdidas por erosión.

Se ha determinado que, si se reduce la cobertura de árboles y vegetación de áreas naturales, transformándose en áreas urbanas, decrece la evapotranspiración de 40% a 25%; aumenta la tasa de escorrentía de 10% a 30%; disminuye el tiempo de retraso entre la iniciación de precipitaciones y escorrentía; y, decrece la infiltración subterránea de 50% a 32% (Henríquez et al., 2006). Estos antecedentes permiten afirmar que uno de los más notables impactos ambientales del reemplazo de coberturas naturales, corresponde al aumento de la escorrentía superficial (Díaz Gómez & Gaspari, 2017). La cubierta vegetal, fundamentalmente el bosque de montaña representa un factor estabilizador de la cuenca ante los mecanismos torrenciales: contribuye tanto a incrementar y mejorar la infiltración, ya que la vegetación aumenta la porosidad del suelo; como a disminuir la velocidad de la lámina de escurrido superficial, pues incrementa la rugosidad de la superficie por la que circula y, por último, favorece el flujo subsuperficial del agua en los períodos de precipitaciones abundantes. Asimismo, controla la erosión laminar, la formación de cárcavas y ocurrencia de deslizamientos superficiales. En síntesis, el tapiz vegetal es un regulador natural de los recursos hídricos (Gaspari et al., 2013).

El proceso erosivo está determinado inicialmente por la capacidad de la lluvia para movilizar partículas sólidas por salpicadura y a continuación por la capacidad de transporte de la escorrentía superficial para transportar los sedimentos movilizados por la acción de la lluvia y de la propia escorrentía. Los aumentos de escorrentía superficial facilitan la erosión de la ceniza y de los horizontes orgánicos superficiales del suelo, ricos en nutrientes y, en su caso, también la pérdida de suelo mineral (Fernández &

Vega, 2011). Con relación a los incendios, las mayores pérdidas de suelo por erosión suelen producirse en los primeros meses inmediatamente posteriores a estos, y pueden verse especialmente incrementadas si durante este período, considerado crítico, se producen episodios de lluvias torrenciales (Ramos, 2010).

Está ampliamente reconocido que los suelos más erosionables son aquellos con altos contenidos en partículas tamaño limo y arenas finas ya que son fácilmente disgregables y transportados por los flujos de escorrentía superficial cuya formación también se ve favorecida en estos suelos. Los suelos con altos contenidos en arcilla son poco erosionables debido a que son resistentes al desprendimiento de sus partículas. Aquellos con altos contenidos en arena también son poco erosionables, en este caso debido a su elevada permeabilidad y por su mayor resistencia al transporte (Morgan, 1997).

La disponibilidad de agua es afectada por la vegetación post-incendio, ya que cuando la vegetación se comienza a recuperar, se produce un aumento en el consumo de agua debido a las altas tasas de evapotranspiración, como así también protegen al suelo de la pérdida de agua por escorrentía, mejorando la retención de la misma. Esta tasa de evapotranspiración varía de acuerdo con la edad de los árboles y su hábito foliar. La mayor evapotranspiración ocurre en árboles jóvenes (1 a 5 años) causando la disminución en la disponibilidad de agua. En cambio, los árboles viejos presentan una tasa de evapotranspiración baja, debido al lento crecimiento que presentan (Ulibarry, 2017). Habiendo mencionado esto, debe tenerse en cuenta que la respuesta post-incendio varía de acuerdo con la severidad de quemado y a la capacidad de las especies para tolerar el fuego y de sus mecanismos de regeneración, es decir, que cada especie posee una vulnerabilidad específica (Bran et al., 2007).

2.2. Teledetección aplicada al ambiente

Para la determinación de las áreas afectadas por incendios, la teledetección ha cobrado gran importancia en los últimos tiempos. Se presenta como una herramienta casi indispensable, hoy en día, para realizar dicha labor en territorios relativamente extensos. La teledetección desde plataformas de satélite contribuye en gran medida al análisis de los fuegos y las cubiertas vegetales afectadas, así como de sus efectos ecológicos, climáticos y atmosféricos.

El procesamiento de dicha información mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG) puede brindar resultados que muestren los efectos causados por incendios. Según Gaspari et al. (2013) los SIG son herramientas informáticas que procesan y analizan datos con algún componente espacial. El National Centre of Geographic Information and Analysis (NCGIA) expresa que un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión de recursos y reflejar la realidad simplificada en función del objetivo del mapa a obtener.

El uso de teledetección para la gestión de áreas quemadas desarrolló en las últimas décadas lo que se aprecia en la literatura disponible que aborda el tema. Los índices y variables derivadas de sensores remotos de mediana y alta resolución se presentan como alternativas de interés para la cartografía de área quemada. Sin embargo, muchos de los índices desarrollados necesitan de la determinación de umbrales locales para el tipo de cobertura y severidad de los incendios (Quignard et al., 2017).

La aplicación de teledetección - SIG para la delimitación y cuantificación de superficie quemada es por medio de índices espectrales. El Índice de Área Quemada (IAQ) es el producto que mejor se ajusta al área de estudio, mostrando mejores resultados que al aplicar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), debido a que permite delimitar el área quemada, y además distinguir islas de vegetación no afectadas por el fuego (Michalijos, 2013).

3. ANTECEDENTES

El problema respecto a la calidad y cantidad de agua disponible en el área serrana de la Provincia de Buenos Aires genera gran inquietud por sus consecuencias en el aspecto social y económico. Sin embargo, aún no se trató un factor causante fundamental que es la emisión de sedimentos, como es el caso en la cabecera de la Cuenca del Río Sauce Chico, en el partido de Tornquist, Provincia de Buenos Aires, Argentina, donde se encuentra integrada la Cuenca del Arroyo Ventana, proveedora del agua de toda esta región. En esta cuenca, el proceso erosivo agrava la situación del suministro de agua, particularmente a los productores agropecuarios – turísticos, que presentan un potencial productivo en déficit debido a la pérdida de suelo y/o inundaciones.

La Cuenca del Arroyo Ventana cuenta con una superficie de 75,95 km², ubicada en el Sistema Bonaerense de Ventania cabecera este del río Sauce Chico, 38° 01' y 38° 07' S y 61° 57' y 62° 08' O (Gaspari et al. 2009) (Figura 1). Nace en la vertiente occidental del cordón Ventana y es una subcuenca del río Sauce Chico. Está formada por los arroyos de La Ventana y San Juan. Su curso principal corre en sentido E-O y es el afluente más caudaloso del Sauce Chico.

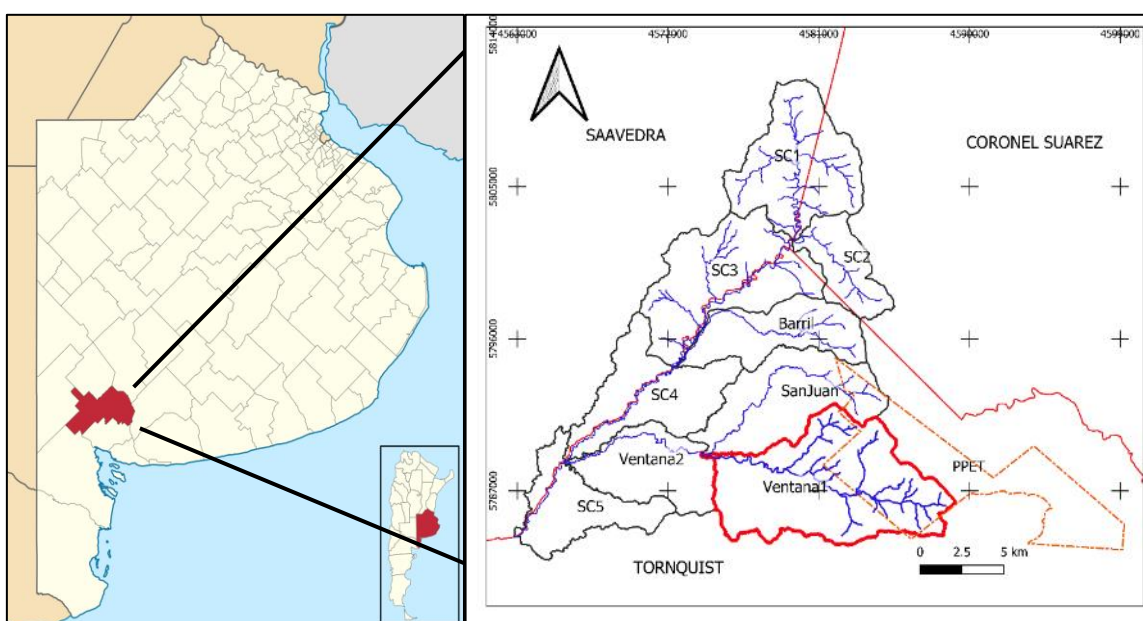


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio con la cuenca del Arroyo Ventana.

Fuente: Gaspari et al. (2019) Adaptación propia.

La localización de esta cuenca determina la presencia de elementos físicos y sociales que configuran una alta vulnerabilidad ambiental frente a distintas amenazas, como ser eventos de incendios y fenómenos torrenciales. Además, uno de los tributarios semipermanentes del arroyo Ventana, presenta actividad torrencial, y atraviesa la localidad de Villa Serrana La Gruta, que en épocas de lluvias intensas provoca eventos de avenidas, dejando incomunicado un sector de la villa.

La zona posee una gran importancia dentro de la provincia de Buenos Aires en varios aspectos. Por un lado, pertenece a la región de pastizales naturales de la provincia, zona de gran relevancia por las particularidades de su ambiente, su riqueza florística, sus endemismos, su valor como recurso forrajero y sus servicios en el control de erosión (Lizzi et al., 2007). Este aspecto, cobra relevancia, si se tiene en cuenta que en el sudoeste bonaerense quedan pocos lugares donde se preserva la vegetación natural,

como es el caso del Parque Provincial Ernesto Tornquist (PPET). Por otro lado, presenta un gran atractivo para el turismo, no solo por su paisaje natural sino también porque constituye uno de los ambientes de mayor calidad ambiental de la provincia. Estas características determinan que el sector conforme un corredor turístico denominado “Comarca Turística de la Sierra de la Ventana” en el cual se desarrolla una importante infraestructura y equipamiento, siendo el turismo la principal actividad económica (Municipalidad de Tornquist, 2002).

Michalijos y Zapperi (2015) han concluido que en épocas de abundantes precipitaciones se desarrollan procesos erosivos y la capacidad de retención del agua es baja en la cuenca. Las nacientes de las cuencas presentan en su mayoría cursos estacionarios, es decir, que el aporte de agua durante la estación seca es escaso y por lo tanto durante gran parte del año se presentan como cauces secos. La existencia de ellos está condicionada a la cantidad de las precipitaciones y cuando se producen fuertes lluvias adquieren velocidad con un gran poder erosivo en la parte inferior del curso. La dinámica fluvial es propensa a la generación de crecidas con bajo tiempo de concentración, lo que contribuye a una rápida evacuación del agua. Este comportamiento puede verificarse durante el verano, cuando se generan tormentas convectivas que provocan un rápido aumento del caudal y de la escorrentía. Las nacientes de las subcuencas analizadas se localizan en áreas serranas, la pendiente favorece procesos erosivos e impide la acumulación de agua en los cauces. Por último, afirman que las características previamente mencionadas ayudan a inferir que en el área la disponibilidad hídrica tanto para el manejo de incendios como también para aminorar su ocurrencia es exigua.

Respecto a los incendios que ocurren en este sitio, la mayoría de ellos se desarrollan en verano (coincidiendo con la época de mayor afluencia de visitantes), registrándose el 70% de los eventos en el período 1996-2009 sobre un total de 19. Las causas son diversas, sin embargo, predominan los incendios accidentales debido a cigarrillos mal apagados (42%) y luego naturales, por caída de rayos durante las tormentas (33%) (Michalijos & Uboldi, 2013).

4. FUNDAMENTACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL TEMA DE TRABAJO FINAL DE CARRERA

Las forestaciones representan áreas de protección de cuencas debido a su efecto en disminuir el impacto del agua de lluvia, aumentar la infiltración, y mejorar las cualidades de los suelos, ya sea su porosidad, estructura, cantidad de materia orgánica. No obstante, debe tenerse en cuenta los efectos contraproducentes que pueden causar sobre el ecosistema natural, y más aún, si se trata de uno que se encuentra bajo una gran presión por avance de la frontera agropecuaria y la planificación urbana, con pocos sitios donde se ocupe de la protección de los mismos.

Entre esos efectos, se puede mencionar la peligrosidad ante incendios. Considerando que, un incendio forestal puede provocar mayor erosión edáfica por las características que presenta (mayores temperaturas y mayor posibilidad de expansión) esta situación complica las medidas que puedan tomarse para detener el avance del incendio. Además, se deben tener en cuenta los efectos negativos post-incendio, entre ellos, la conformación de sitios aptos para la reconversión del paisaje incendiado, por medio del establecimiento de nuevas plantas exóticas, desplazando aquellas nativas que puedan estar representando endemismos.

Si bien se ha estudiado el efecto de las forestaciones sobre el suelo y la vegetación nativa, como así también sobre la fauna silvestre en la región serrana de Ventania, no se ha hecho una revisión de los efectos de la erosión superficial de suelos post incendio, especialmente la pérdida que puede representar por emisión de sedimentos ante un evento torrencial, que significa el principal aporte de este Trabajo Final de Carrera (TFC).

5. OBJETIVO GENERAL

Estudiar el efecto de los incendios forestales sobre la pérdida de suelo superficial por erosión hídrica en la Cuenca del Arroyo Ventana, Partido de Tornquist, Provincia de Buenos Aires.

5.1. Objetivos específicos

- Identificar, zonificar y caracterizar áreas afectadas por incendios, ocurridas en el área de estudio en el período 2010 – 2020.
- Clasificar áreas afectadas en severidades de incendio y relacionar con la cobertura de suelo afectada.
- Cuantificar las pérdidas anuales de suelo actual para el área de estudio, e incorporar la vulnerabilidad de los suelos debido a incendios.
- Determinar el riesgo de erosión hídrica superficial del suelo.
- Analizar la temática de incendios forestales y de pastizales en el Plan Manejo del PPET.
- Plantear medidas de manejo y conservación de suelos a implementar para prevenir daños futuros en áreas incendiadas.

6. HIPÓTESIS

Las áreas que presentan vegetación arbórea representan un factor estabilizador de la cuenca ante los mecanismos torrenciales, como así también favorecen a la disminución de la erosión hídrica superficial por su protección edáfica. Ante eventos de incendios locales que afecten áreas forestales, arbustivas y herbáceas, esta regulación hidrológica de la cuenca se vería alterada aumentando tanto la emisión de sedimentos como el riesgo por erosión hídrica superficial del suelo.

7. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio para el presente Trabajo Final de Carrera corresponde a la cuenca del Arroyo Ventana, cuya cabecera se encuentra el PPET, el cual comprende un área de 6.718 hectáreas e integra el Sistema de Áreas Naturales de la Provincia de Buenos Aires.

7.1. Vegetación

La vegetación nativa predominante es la estepa gramínea que cubren las Sierras Australes, ubicada en la Región Fitogeográfica Neotropical, Dominio Chaqueño, Provincia Pampeana, Distrito Pampeano Austral (Frangi & Bottino, 1995). Presentan una gran variedad de biotopos vinculada a la heterogeneidad del relieve, del gradiente altitudinal y a los distintos tipos de sustratos para los seres vivos. Se han identificado más de 400 taxones vegetales nativos (Frangi & Bottino, 1995).

La vegetación está representada por una estepa gramínea con predominio del género *Stipa* (flechillas y paja vizcachera), *Piptochaetium*, *Festuca* y *Briza*. En algunos sectores se encuentran comunidades arbustivas de *Eupatorium buniifolium* Hooker et Arnott. y *Discaria americana* Gillies & Hook (Brusquilla). La vegetación herbácea varía según la altitud y las condiciones de pendiente y exposición en que se encuentran las laderas. En la zona de las lomadas suaves se presenta vegetación esteparia formada por hierbas perennes xerófilas. Sobre las laderas de la sierra, la vegetación es pobre y se reduce a manchones debido a abundantes afloramientos rocosos (Frangi & Bottino, 1995). La vegetación natural está siendo invadida por especies introducidas de rápida propagación y elevada combustibilidad (cardos, coníferas, eucaliptos y retamas), que compiten por el nicho ecológico con las nativas. Además, la actividad humana ha provocado cambios en el ecosistema al convertir las tierras a la actividad agrícola-ganadera.

7.2. Parque Provincial Ernesto Tornquist

El PPET constituye una de las escasas áreas protegidas del país dedicada a la conservación de pastizales pampeanos serranos, creado en 1937 por la Ley Provincial N° 5.421/1958.

Uno de los graves problemas que enfrenta esta reserva en la actualidad es la propagación de especies exóticas, incluyendo plantas leñosas y caballos cimarrones, que han conseguido establecerse y prosperar, provocando impactos negativos sobre la biodiversidad nativa (Villalobos, 2009). A excepción del PPET, prácticamente no existen reservas naturales dedicadas a la protección del ecosistema pampeano, cuya región pampeana ocupa una superficie de unos 450.000 km² (Burkart, 1991), de los cuales menos del 1,05% se encuentra bajo protección legal (APN, 2018). Este porcentaje está muy significativamente por debajo de los estándares sugeridos a nivel internacional para fines de conservación a largo plazo.

Además de ser casi único por la escasez de áreas protegidas pampeanas, el PPET reúne características que lo hacen particularmente valioso como unidad de conservación de biodiversidad. La reserva se ubica en el centro de un área de concentración de especies endémicas, que en el caso de las plantas superiores incluye veinte endemismos estrictos (especies, variedades o formas cuya distribución está restringida al sistema de Ventania) y veintisiete taxones endémicos en un sentido más amplio (especies, variedades o formas con poblaciones disyuntas en otros puntos geográficos). El PPET alberga diecisiete de estos veinte endemismos estrictos y veinte

de los endemismos de mayor distribución (Kristensen & Frangi, 1995). Por su parte, Long (2018), describió una nueva especie endémica de las Sierras Australes Bonaerenses, *Opuntia ventanensis* A.Long.

Según Zalba (1994) cuando se midió el impacto de los bosques sobre la flora nativa de la reserva, se observó que los árboles producen reducciones en el número total de plantas respecto a las áreas control de pastizal natural. Además, la presencia de las especies arbóreas conlleva incrementos significativos en la proporción de especies de hierbas y arbustos exóticos. Es decir, debajo de los bosques no sólo crece un número de plantas inferior al de los pastizales, sino que, además, la presencia de especies exóticas favorece a otras exóticas que hallan en el sotobosque un ambiente propicio para su desarrollo, pudiendo ser el punto de partida para futuras invasiones hacia las áreas menos transformadas de la reserva.

Las áreas naturales corresponden al PPET y a las zonas que presentan una escasa intervención humana. El PPET posee un Plan de Manejo (Fiori et al., 1997) que zonifica la reserva en diferentes áreas (Figura 2) según los distintos objetivos planteados en él y en la Ley 19.907. Estas son:

- Zona Intangible (lotes La Blanqueada y Triángulo Sur): destinada a la conservación y donde la intervención humana es mínima.
- Zona Primitiva (lote El Abra, El Carol y El Avestruz): área con fines científicos y con formas primitivas de recreación bajo estricto control. Se entiende por forma primitiva a todas las actividades que no requieren la utilización de elementos ni infraestructura para su práctica.
- Zona de Uso Intensivo: donde se desarrollan actividades educativas, de esparcimiento, recreativas y comerciales, entre otras.
- Zona de Uso Especial: incluye actividades e instalaciones que no se encuadran en los objetivos de la reserva y son imprescindibles para su funcionamiento, además de actividades productivas de bajo impacto ambiental.

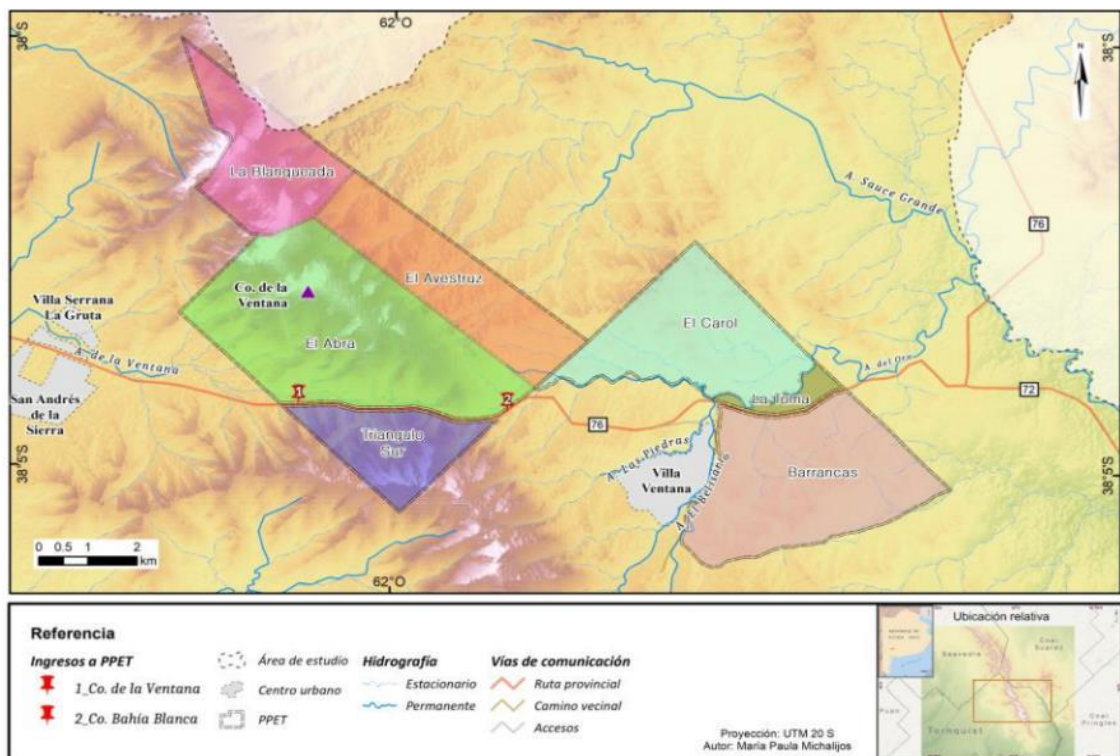


Figura 2. Zonificación de PPET. Fuente: Michalijos, (2018).

En cuanto a la ocurrencia de incendios, para las áreas turístico-recreativas, representadas por los atractivos turísticos, la probabilidad de ignición varía en función de las características de cada uno. Existen atractivos naturales y culturales, algunos con acceso vigilado y otros no. A partir de ellos se establece un peligro muy alto para los que se encuentran dentro de la reserva en la Zona de Manejo de Uso Intensivo, alto en el Cerro Tres Picos, medio en las ruinas del Ex Club Hotel y bajo en la Fuente del Bautismo y la Iglesia y Santuario de la Virgen de Fátima. En cuanto a las áreas agrícola-ganaderas la probabilidad de ignición asociada a causas humanas corresponde a chispas de maquinarias. Por este motivo, se considera que el peligro es bajo (Michalijos 2018).

Las comunidades vegetales según Bilencia & Miñarro (2004) varían desde los pastizales de altura representados por *Festuca ventanicola* Speg., (endémica) hasta los pastizales de bajos húmedos y arroyos, representados por *Paspalum quadrifarium* Lam., *Cortaderia selloana* (Schult. & Schult.) pasando por pastizales intermedios compuestos por *Sorghastrum pellitum* Hack y *Piptochaetium napostaense* (Speg.) Hack y pastizales de piedemonte (*Pavonia cimbalaria* A. St.-Hil. & Naudin). Varias especies son exclusivas del Sistema de Ventania y están en peligro crítico como *Polygala ventanensis* Grondona. y *Senecio leucocephalus* Cabrera.

Entre las especies leñosas se destacan: *Robinia pseudoacacia* L. (acacia blanca), *Populus alba* L. (álamo blanco), *Acacia dealbata* Link (aromo.), *Cedrus deodara* Roxb. (G.Don (cedro), *Cupressus sempervirens* L. (ciprés), *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus viminalis* Labill, *Eucalyptus. Globulus* Labill., *Pinus. Radiata* D. Don (pino de Monterrey), *Ulmus pumila* L.(olmo) y *Pinus halepensis* Mill. (pino de Alepo). Dentro de las arbustivas se destaca *Spartium junceum* L. conocida como la retama o retama española que se caracteriza por formar manchones muy densos que inhiben el crecimiento de cualquier otro tipo de vegetación y con frecuencia provocan desbordes en los arroyos. Durante su crecimiento los tallos más internos van muriendo, provocando en los individuos viejos una gran cantidad de materia seca. Esta situación, sumada a su abundancia en bordes de caminos, aumenta la frecuencia e intensidad de los incendios (Sanhueza & Zalba, 2009). El PPET pretende realizar un permanente trabajo para preservar dicho ambiente protegiendo las especies endémicas, uno de los menos conservados de la Argentina y que ha sufrido profundas transformaciones antrópicas. Gran parte de la reserva se encuentra amenazada por la introducción, accidental o deliberada de flora y fauna exótica.

Entre los objetivos del PPET se destacan: conservar los distintos ambientes naturales, garantizar la supervivencia a largo plazo de las especies endémicas y amenazadas, conservar el patrimonio cultural y aspectos salientes del registro geológico, evitar la erosión, impulsar la educación ambiental, desarrollar actividades turísticas de bajo impacto y promover la adopción de prácticas agropecuarias sustentables en la región.

El PPET está elaborando un Plan de Manejo del Fuego que se inscribe dentro del Plan de Manejo de PPET, cuyo objetivo es establecer mecanismos de uso del fuego como herramienta necesaria para garantizar la dinámica del sistema ecológico, mantener su capacidad de carga y, en general, asegurar la preservación ambiental de la porción de ecosistema nativo protegido. El Plan de Protección y Estrategia Operativa incluye los lineamientos de acción que permitan prevenir y eventualmente sofocar todo incendio no deseado en jurisdicción del PPET, e instrumentar operativa y logísticamente las quemas prescriptas programadas. En él se consideran valores amenazados prioritarios a: la vida humana, las especies en peligro de extinción y/o endémicas, el patrimonio cultural, las áreas de reserva natural estricta y la infraestructura del área (Michalijos, 2018).

Como vegetación arbórea destacable, el Bosque de Ascenso al Cerro Ventana se encuentra entre los 38° 03.851' S y los 62° 01.173' W y fue plantado en las décadas de 1940-1950 como una doble hilera de árboles en la primera etapa del sendero de ascenso al Cerro Ventana, para demarcar el camino y brindar sombra a los visitantes. La Figura 3 muestra la variación de dicha cobertura, con los primeros establecimientos de pinares en el área de estudio (Figura 3.A), y la evolución de la ocupación de pinares es mayor (Figura 3.B), pasando por un momento de incendio (Figura 3.C) y finalmente mostrando regeneración del bosque al pasar el tiempo (Figura 3.D).

Es un lugar de pendiente más pronunciada que el bosque anterior, de entre 30° y 60°, por lo que la dificultad de acceso es intermedia (Cuevas 2005), y por la topografía del terreno se encuentra reparado del viento. A partir de estas hileras plantadas, se estableció un bosque denso que cambió por completo la fisonomía del paisaje, encontrándose gran cantidad de renovales, ejemplares de diversas edades y mantos de acículas de gran espesor. El 73% de la superficie de la reserva se encuentra en estadios iniciales de colonización, con valores de densidad que no superan los 10 árboles/ha; un 16% del área presenta una densidad que oscila entre 10-200 pinos/ha y un 3% está cubierto por bosques densos que superan los 200 pinos/ha, con fluctuaciones que se originan en los incendios que afectan periódicamente al área (Cuevas, 2005).

El 50,66% de los pinos cortados durante el período 2001-2008 presentaban menos de diez años (76 de 150 pinos). Se observa que en la reserva *Pinus radiata* empieza a portar conos a partir de los cinco años de edad; encontrándose dos pinos con conos sobre un total de doce de esa edad. (Fernández, 2010).

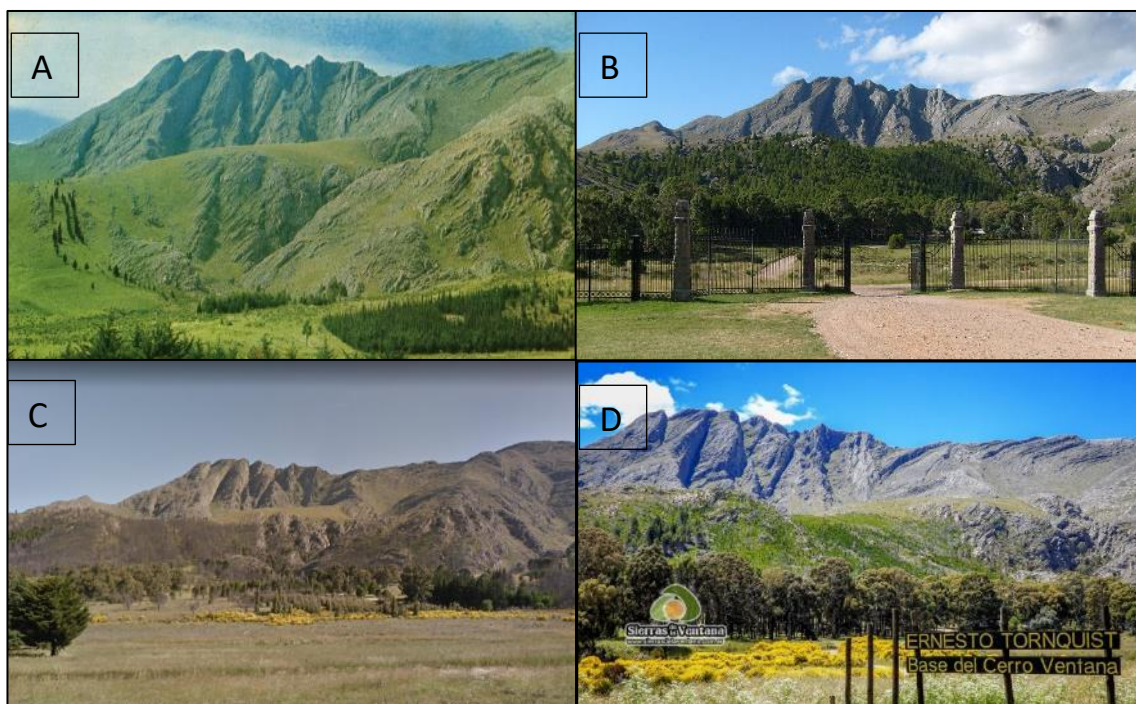


Figura 3. Zona Base Cerro Ventana. **A: año 1974** Fuente: Facebook PPET <https://www.facebook.com/ParqueProvincialTornquistCerroVentana/>. **B: año 2010**. Fuente: Wikipedia PPET. https://es.wikipedia.org/wiki/Parque_provincial_Ernesto_Tornquist. **C: año 2015**. Fuente: Google Street View. **D: año 2020**. Fuente: Sierra de la Ventana. <https://www.sierrasdelaventana.com.ar/naturales/parque-provincial-ernesto-tornquist/>

7.3. Usos de suelo

Algunas comunidades dominadas por pastizales y arbustos están aparentemente relacionadas a áreas con pastoreo excesivos y otras a suelos erosionados principalmente en forma natural. La vegetación vinculada a la intervención humana está representada por un ambiente serrano, donde las modificaciones se deben principalmente a la introducción de especies vegetales para la producción agropecuaria, pastoreo de animales silvestres y domésticos introducidos, usos del fuego, forestaciones, extracción de especies de interés en florería y el trazado de caminos y sendas.

La agricultura de granos y forrajeras se desarrolla en los valles y faldeos bajos donde la pedregosidad es reducida permitiendo el uso de maquinaria agrícola y la ganadería utiliza los pastos naturales de las sierras, lomadas y pasturas implantadas. Entre los cultivos agrícolas se destacan: *Bromus sp.* L. (cebadilla), *Festuca sp.* L. (festuca), *Trifolium repens.* L. (trébol blanco), *Dactalis glomerata* L. (pasto ovillo), todas estas forrajeras generalmente en asociación; cereales como *Triticum aestivum* L. (trigo), *Avena sativa* L. (avena), *Zea mays* L. (maíz), *Helianthus annus* L. (girasol), *Hordeum distichum* L. (cebada cervecera) y *Secale cereale* L. (centeno). La vegetación presente en los cursos de agua y sus márgenes, se describen por agrupamientos vegetales que ocupan extensiones reducidas y están ligados a ejes de drenaje sin agua en la superficie, arroyos temporarios y permanentes. La actividad ganadera se basa en la cría e invernada bovina. En invierno se realiza el pastoreo en las áreas altas.

Las especies forestales presentes se encuentran formando parques de cascos de estancias y zonas recreativas limitados a apoyar la actividad agropecuaria, presentándose bajo la forma de montes de abrigo para el ganado, cortinas forestales de protección, montes ornamentales y una pequeña área de montes protectores y de recreación. No se encuentran masas de especies arbóreas nativas de importancia. En suelos serranos se ha forestado en mayor frecuencia con *Pinus halepensis*. En los suelos profundos de los valles se planta con *Pinus radiata*, *Pinus Pinaster*, *Pinus Canariensis*, *Cupressus sp.*, *Eucalyptus viminalis*, *Eucalyptus. Camaldunensis*, *Eucalyptus. Globulus*, *Gleditsia triacanthos*, *Robinia pseudoacacia* y distintos *Populus*.

7.4. Áreas urbanas

Dentro del área comprendida por la Cuenca del Arroyo Ventana, se encuentran dos localidades:

- Villa Serrana La Gruta (VSLG), fundada el 2 de diciembre de 1970, es una villa residencial que se localiza en el kilómetro 228 de la Ruta Provincial 76, a 3 km del PPET y 35 km de Sierra de la Ventana. El desarrollo de la infraestructura y el crecimiento fue muy lento, en treinta años solo se completó el tendido eléctrico, el alumbrado público y el puente peatonal que permite cruzar el arroyo de La Ventana (Michalijos et al., 2013). En el censo de 1991 el poblado registraba 8 residentes, cifra que se multiplica por cinco en 2001, representando un crecimiento intercensal de 412,5 %. Actualmente posee 52 habitantes permanentes (censo 2010).
- San Andrés de la Sierra (SAS), frente a VSLG, que se estructura como un barrio parque de 37 manzanas que comenzó a comercializarse en 1998 a cargo de una empresa privada. Su desarrollo aún es incipiente, y menor a la de su vecina localidad. Debido a la escasa población, en los censos y en los registros de la municipalidad de Tornquist, San Andrés está catalogado como zona rural.

7.5. Clima

Según la clasificación de Thornthwaite, el clima es templado subhúmedo seco (C1) (Burgos, 1968) quedando la región comprendida en la franja zonal de clima templado húmedo pampeano, con veranos secos y cálidos e inviernos secos y fríos. La Figura 4 muestra una temperatura media anual es de 13,9 °C y la precipitación media histórica de 723 mm (últimos 30 años), con una máxima de 1056 mm y mínima de 396 mm. Presenta una distribución temporal con marcada estacionalidad, concentrando el 64% del total en el semestre octubre a abril, siendo marzo y abril los que registran mayores valores mensuales de precipitación. Debido a la estacionalidad de las precipitaciones, se produce una sucesión de períodos húmedos y secos que provoca una importante oscilación de la disponibilidad hídrica durante el año y a lo largo de varios años. La variabilidad interanual de las precipitaciones es la característica principal del Suroeste de Buenos Aires. Según el Servicio Meteorológico Nacional no existe estacionalidad marcada en la dirección y velocidad de los vientos predominantes, encontrando mayor cantidad de horas anuales de viento proveniente del sector oeste. La humedad relativa media anual es del 70% y las heladas son frecuentes entre los meses de abril y septiembre (Gaspari, 2000).

La dinámica climática del área presenta marcadas variaciones estacionales locales e interanuales, debido a que el efecto topográfico favorece la generación de microclimas. en función de la altitud, la exposición y la pendiente (Kristensen & Frangi, 1995b). Las sierras presentan un gradiente altitudinal que promedia 6,9°C/1000 m (Kristensen & Frangi, 1995a).

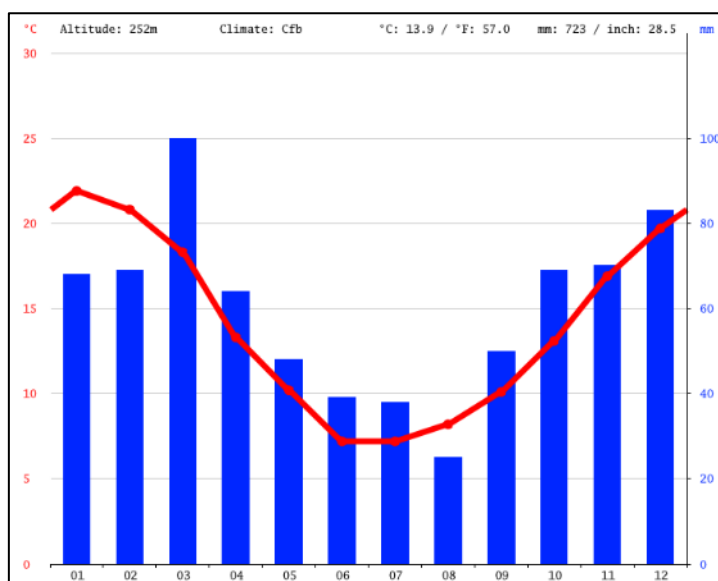


Figura 4. Climodiagrama de las precipitaciones y temperatura mensuales en la localidad de Villa Ventana. Fuente: www.climate-data.org

Se destaca el año 2013 como un año con precipitaciones por debajo de la media histórica (723 mm) y la media del período 2010 - 2019 (847mm) (Figura 5). Es un factor importante a tener en cuenta para explicar un aumento de la vulnerabilidad del ambiente a sufrir incendios por menor agua en el suelo y en las plantas.

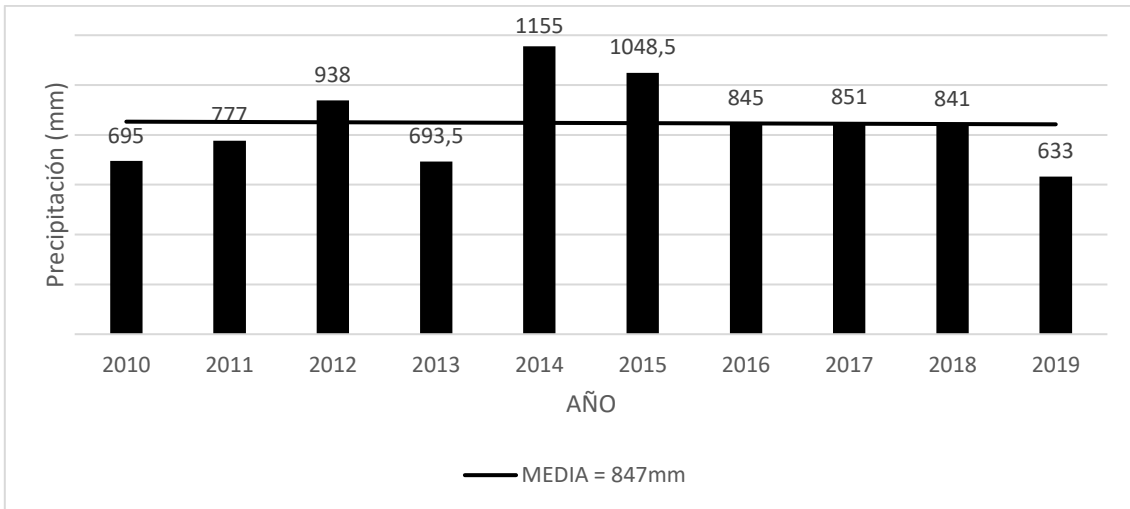


Figura 5. Precipitaciones anuales para los años del período 2010-2019.

En los últimos 10 años se ha registrado un aumento anual de las precipitaciones de 120 mm comparado con la media histórica, registrando mayores aumentos en los meses de enero, febrero, octubre y noviembre, y disminución en el mes de diciembre, momento clave donde se registran altos valores de evapotranspiración y temperaturas medias. En la Figura 6 se representa valores positivos para aquellos meses que registraron mayores valores de precipitaciones en la última década y viceversa.

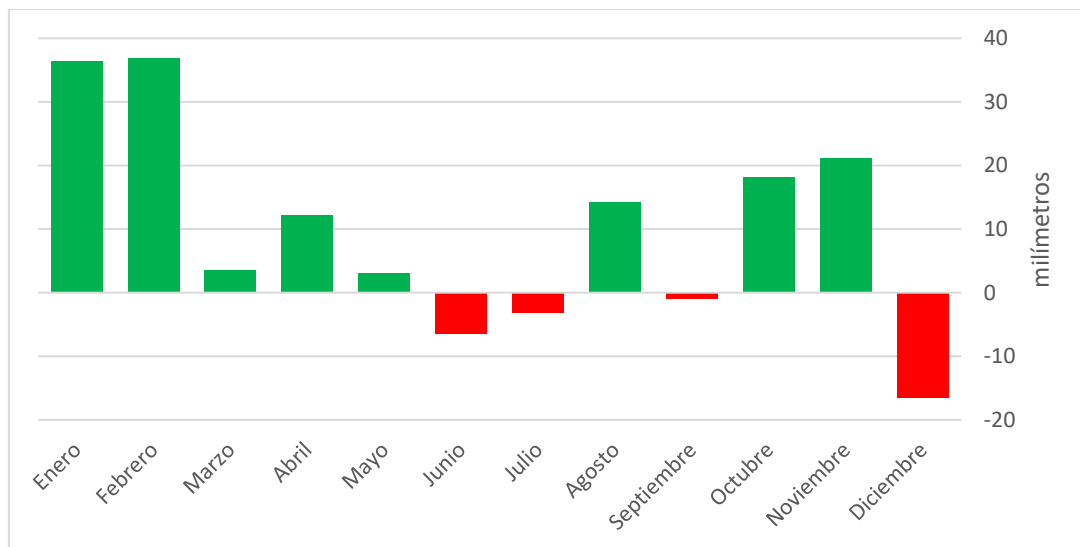


Figura 6. Variación mensual de precipitaciones entre media histórica por mes y mismo valor para el período 2010 – 2020.

7.6. Fisiografía y geomorfología

La comarca forma parte de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. Esta unidad orográfica es uno de los ejemplos más puros de estructura de plegamiento conocido en el mundo (Harrington, 1947), está compuesta por cordones subparalelos los cuales forman un conjunto de elevaciones bien definidos, en sentido noroeste-sudeste, de 180 km de longitud, una anchura máxima de 50 km en su parte central y una elevación promedio de 500 metros (Sellés Martínez, 2001). Dentro de las sierras se

pueden distinguir dos sectores, uno occidental, que comprende las Sierras de Puán, Curamalal, Bravard y Ventana y otro oriental, formada por las Sierras de Tunas y de Pillahuincó. En el área de Ventana, las sierras constituyen la mayor divisoria de aguas donde surgen cuencas endorreicas y exorreicas con desembocadura estas últimas en el Océano Atlántico. Todas las cuencas se alimentan de la lluvia caída, por las épocas de sequía o exceso de agua condicionan su caudal (Panizza, 2016). La mayor elevación la constituye el cerro Tres Picos con 1247 msnm.

Las sierras se originaron por plegamientos durante la era Mesozoica, están compuestas por rocas cuarcíticas de espesor variable sobre un basamento cristalino de rocas graníticas. Las partes bajas están cubiertas de sedimentos loésicos (areniscas, pizarras, cuarcitas y conglomerados glaciarios) y limos arcillo-arenosos que en algunos casos aparecen cementados por caliza, formando capas de tosca de alrededor de 0,50 metros. de espesor. El relieve es muy abrupto, las laderas tienen una pendiente promedio del 16% y están atravesadas por valles profundos y abras. Éstas últimas cruzan el cordón de lado a lado y están relacionadas con valles preexistentes. Las áreas inmediatamente aledañas a las laderas, tiene una inclinación promedio del 8 %. Finalmente se encuentran las planicies con pendientes de alrededor del 3 % (Boyeras et al., 2005). La Figura 7 representa las pendientes del terreno, determinadas en porcentaje, en el área de estudio, dividido en 6 rangos. Demuestra claramente dos áreas diferenciadas, con pendientes pronunciadas en áreas serranas (> 18%) y menores en áreas periserranas (< 18% de pendiente).

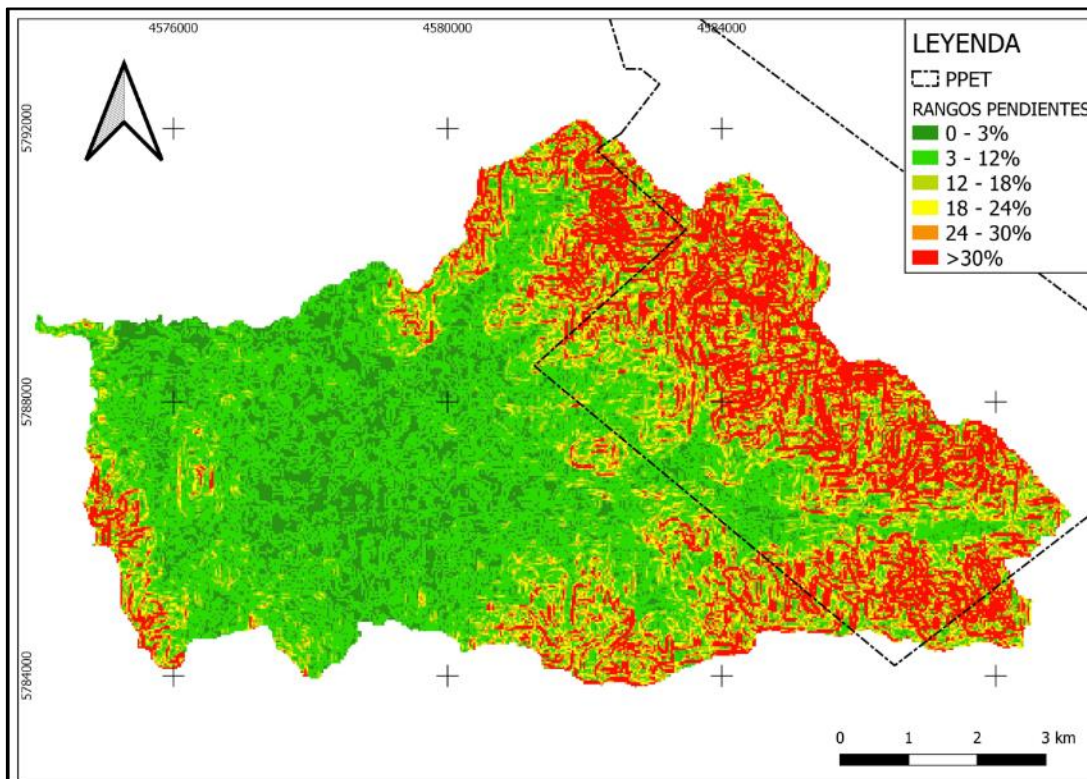


Figura 7. Mapa de pendientes en porcentaje de la cuenca del Arroyo Ventana. Creado a partir de Modelo de Elevación del Terreno.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 8 representa un mapa topográfico, con las curvas de nivel del área de estudio y sus inmediaciones, demarcando áreas serranas con cotas mayores a 650 msnm, y periserranas hacia las cotas menores, como ser 250 msnm.

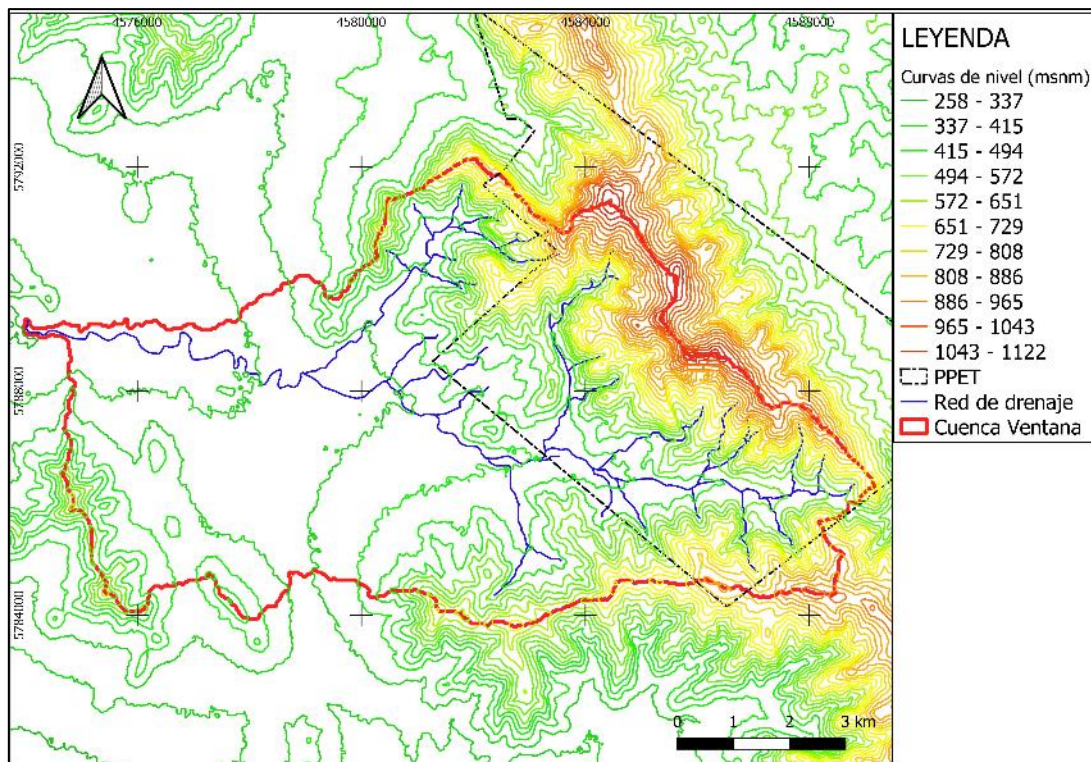


Figura 8. Mapa topográfico de la cuenca del Arroyo Ventana.

Fuente: Adaptación propia.

7.7. Suelos

Los suelos serranos se desarrollaron a partir de sedimentos loésicos arenosos que cubrieron las pendientes y cumbres con espesor variable, donde se mezclan clastos, detritos de rocas y afloramientos rocosos.

Las unidades cartográficas de suelo a escala 1:50.000 (IGN, 1870), como se expresa en la Figura 9 y 10, se conforman con las siguientes series según INTA:

- Asociación Bonete 1: Haplustol petrocálcico, franco fino, mixta;
- Asociación Tornquist: Argiustol típico, limosa fino, mixta;
- Asociación Dufaur: Paleustol petrocálcico, limosa fina, mixta;
- Asociación Erize: Argiustol petrocálcico, franco fina, mixta;
- Complejo Cerro del Chimango: Haplustol petrocálcico, arenosa, térmica;
- Complejo Cura Malal: Argiustol típico, limosa fina, mixta;
- Grupo Fuerte Argentino: Argiustol ácuico, franca fina, térmica;
- Grupo Arroyo Cura Malal Grande: Haplustol típico, franco fino, somero;
- Misceláneas Afloramientos rocosos.

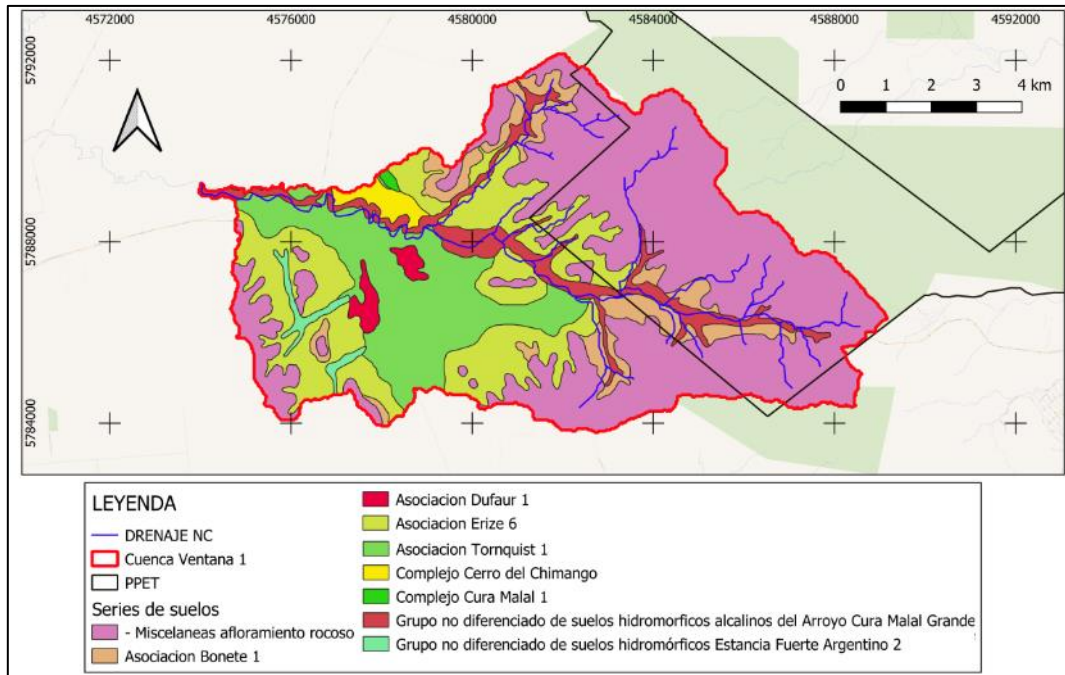


Figura 9. Unidades cartográficas de suelos presentes en cuenca del Arroyo Ventana.

En la Figura 10 se representa espacialmente la clasificación taxonómica según USDA de las series previamente desarrolladas. Se destaca una gran superficie clasificada como afloramientos rocosos (48%) y argiustoles (37%).

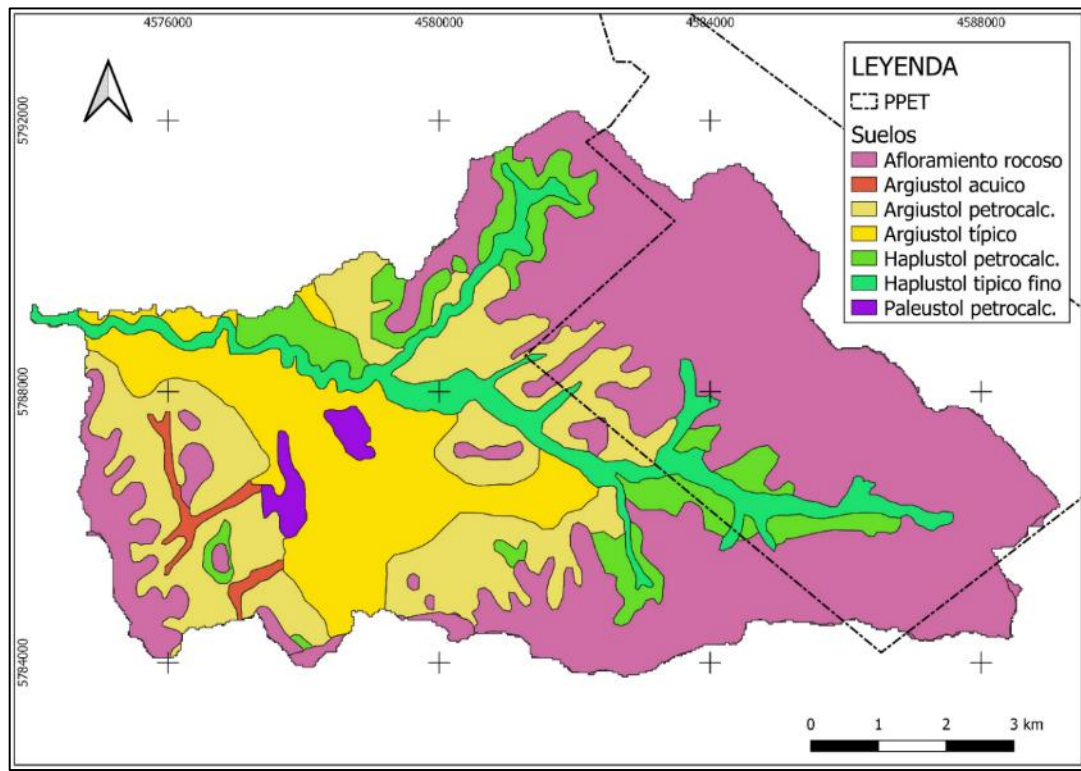


Figura 10. Clasificación taxonómica de suelos para cuenca del Arroyo Ventana.

7.8. Patrón hidromorfológico y drenaje

El Arroyo de la Ventana pertenece a la Cuenca Alta del río Sauce Chico, una de las cuencas principales del suroeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Su red de drenaje se desarrolla sobre las laderas occidentales de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires. El cauce principal (Arroyo Ventana) se dispone en sentido este-oeste y con una pendiente media de 3,6% se mantiene a una altura de 450 metros aproximadamente. Recibe afluentes por ambas márgenes, los de la derecha son más abundantes y nacen a alturas que varían entre los 1.000 y 800 msnm mientras que los que drenan el margen izquierdo lo hacen entre los 750 y 600 msnm. Además, la subcuenca del Arroyo Ventana está drenada por una red fluvial bien estructurada aun cuando se detectan algunos afluentes arreicos, desconectados de la red principal (García et al., 2016).

El Arroyo de Ventana configura un patrón fluvial diferenciado, de estilo trenzado o *braided* en el tramo alto, y de estilo meandriforme, en el tramo medio, como se expresa en la Figura 11. El colector 1, de mayor recorrido y de menor pendiente longitudinal, al insertarse en su recorrido en los depósitos Cuaternarios del fondo de valle, contribuye a modificar las condiciones hidrosedimentarias del Arroyo de la Ventana, a juzgar por las facies limo-arcillosas detectadas en las barrancas. Todo ello determina que aguas abajo de la confluencia de este colector, el Arroyo de la Ventana presente una cierta tendencia general a la incisión que se traduce en un cauce más estrecho y perfectamente definido en la llanura mediante barrancas de más de 2 metros de altura.

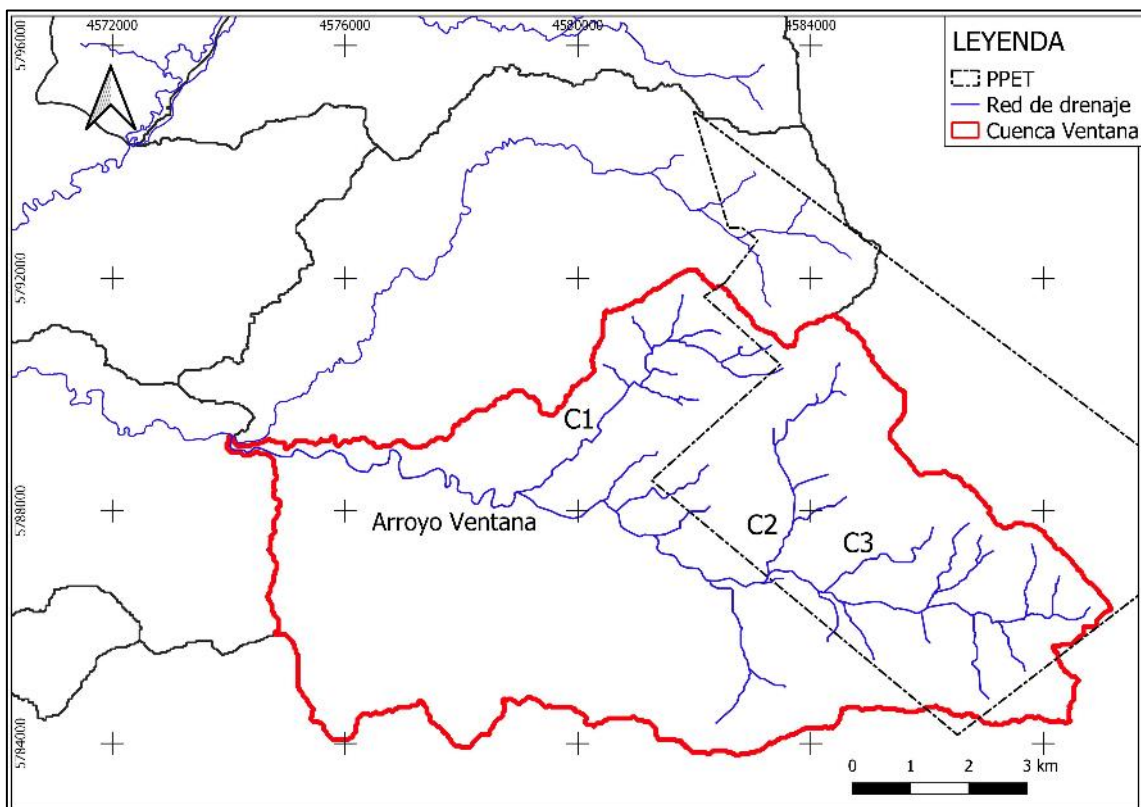


Figura 11. Mapa de red de drenaje, emplazado en detalle de la Figura 1. Donde: C1: Colector 1; C2: Colector 2; C3: Colector 3 (Clasificación según García et al. (2016))

Fuente: Elaboración propia.

A nivel de trazado, el arroyo se desplaza lateralmente generando meandros con cierta elongación y configurando, en el desarrollo de su banda activa, dos niveles de terrazas generalizadas en todo este tramo.

Según García et al. (2016), a nivel geomorfológico general se constata en todo el tramo medio-alto, dos niveles de terrazas (TV1 y TV2). El nivel TV1, de mayor extensión espacial, es el nivel que marcaría la configuración de la llanura de inundación actual aguas abajo de la confluencia del colector 1 y que enlazaría con el fondo de valle del Arroyo en su tramo alto. Por su parte, el nivel TV2, implicaría una fase de incisión posterior en este sector del valle, no reconocible en el tramo alto de la cuenca del Arroyo de Ventana.

8. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

Los estudios sobre los procesos dinámicos de los cambios en la cobertura de suelo son importantes y necesarios, porque proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Van Lynden & Oldeman, 1997). En la zona serrana del sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, la erosión hídrica superficial provoca una decreciente producción agropecuaria, consecuencia del actual manejo del suelo, la pérdida del horizonte superficial y de la disponibilidad de agua superficial y subterránea. En las últimas décadas, dada la capacidad productiva de los suelos de esta región, los pastizales pampeanos han sido sustituidos por agroecosistemas y evidencian una importante degradación y un escaso grado de conservación (Vázquez & Zulaica, 2011).

La problemática de torrencialidad, erosión hídrica superficial y la pérdida de productividad de la Cuenca del Arroyo Ventana, son provocadas por la falta de medidas de manejo y conservación de suelos, las prácticas de cultivo precarias que no tienen en cuenta la sustentabilidad de los recursos que utilizan y la incorporación de tierras serranas y periserranas a sistemas productivos intensivos, lo cual afecta la provisión de servicios ambientales sobre todo aquellos relacionados al ciclo hídrico a distintas escalas espaciales.

Numerosas especies de leñosas fueron introducidas para enriquecer el paisaje natural del área, las cuales han logrado establecer poblaciones autosustentables y se adaptan a la ecología del sitio, logran reproducirse de manera autónomas y tiene la capacidad de colonizar nuevos sitios, como los bosques mixtos de *Pinus halepensis* y *Pinus radiata*, siendo consideradas especies invasoras.

En las áreas donde los pinos invaden, el fuego presenta un rol primario en el proceso de establecimiento y expansión de sus poblaciones. Sin embargo, no constituye un factor exclusivo; debido a que, otras condiciones ecológicas pueden favorecer el avance de esta especie invasora. En el PPET, el pastoreo continuo de los caballos cimarrones reduce la competencia por luz y favorece el establecimiento de plántulas de pino en los pastizales serranos, aún en ausencia de fuegos, igualmente resultados encontrados señalan la importancia del fuego como un factor clave para disparar la invasión de *Pinus halepensis* en los ambientes de pastizal natural estudiados (Villalobos, 2009).

La comparación de la performance reproductiva de la especie en el área invadida respecto de su rango nativo de distribución permite postular dos aspectos principales, el mayor peso de las semillas y su posible influencia en el establecimiento de las plántulas y la ausencia de enemigos naturales, principalmente depredadores de semillas, como hipótesis biológicas para comprender el proceso de avance de la especie (Cuevas, 2011). Luego de un incendio se conforma un importante banco de semillas en el suelo, el cual se encuentra libre de cobertura vegetal y se ve enriquecido en algunos nutrientes y favorecido por condiciones climáticas predisponentes, proveyendo una oportunidad de reclutamiento para las plántulas y resultando en un rodal de pinos de edad similar. La habilidad de los árboles adultos para sobrevivir a los incendios de baja intensidad y de generar un gran reclutamiento de renovales luego de los mismos significa que no sólo resisten este tipo de fuegos, sino que éstos además facilitan la regeneración de la especie (Fernández, 2010).

Zalba & Cazzaniga (2002) mencionan que, en 27 años, la superficie de estos bosques ha aumentado en más de diez veces, el fuego pudo desencadenar la expansión, dado que el calor promueve la liberación de semillas de los conos de los pinos, reduciendo la capacidad competitiva del pastizal luego de un incendio. A esta situación, Michalijos (2018) expresa que se suma que el área está experimentando un gran crecimiento

urbano sobre áreas forestales acompañado de un desarrollo de infraestructura, producto del auge del turismo.

Los incendios representan un componente natural del ecosistema de pastizal pampeano. Sin embargo, el avance de la urbanización sobre espacios naturales tuvo como consecuencia que la sociedad los considere un disturbio que debe ser controlado. El hombre al avanzar sobre áreas forestales e intentar reducir los efectos de los incendios alteró su frecuencia, intensidad y extensión. La Comarca de la Sierra de la Ventana no es ajena a esta situación, anualmente se registran fuegos con efectos cada vez más preocupantes. Dicho sitio ha sufrido naturalmente incendios a lo largo de su historia, pero en los últimos 20 años la ocurrencia es mayor y ha tenido consecuencias negativas para la sociedad. El resultado es una ocurrencia posterior de fuegos con características catastróficas tanto para el ecosistema como para la sociedad. Un ejemplo de ello es el incendio desatado el 29 de diciembre de 2013, causado por negligencia, y considerado el mayor de la historia de la Provincia de Buenos Aires, el cual se supone afectó a 29.005 hectáreas, y ocasionó pérdidas materiales y económicas a los productores agropecuarios y a los propietarios de los emprendimientos turísticos (Michalijos, 2018).

Michalijos (2018) afirma que el riesgo de ocurrencia de incendios forestales en la Comarca de Sierra de la Ventana se debe a la elevada carga de combustible disponible, a las condiciones meteorológicas y topográficas que favorecen la propagación del fuego, al aumento de las construcciones en áreas forestales y avance de la urbanización, que modifican el ciclo natural de incendios, que condujo a que la vulnerabilidad de la población ha aumentado en los últimos 20 años, debido al auge turístico que experimenta la región sobre áreas forestales.

Por último, Michalijos (2018) afirma que se evidencia una notoria recuperación de la vegetación a pocos meses de extinguido el incendio, las consecuencias sobre la biodiversidad son negativas y se manifiestan con el tiempo. Las especies exóticas avanzan sobre el pastizal natural produciendo modificaciones en la dinámica de los ecosistemas y modificando la frecuencia e intensidad de los incendios. Cuando se midió el impacto de los bosques sobre la flora nativa de la reserva, se observó que los árboles producen reducciones en el número total de plantas respecto a las áreas control de pastizal natural. Además, la presencia de las especies arbóreas conlleva incrementos significativos en la proporción de especies de hierbas y arbustos exóticos. Es decir, debajo de los bosques no sólo crece un número de plantas inferior al de los pastizales, sino que, además, la presencia de especies exóticas favorece a otras exóticas que hallan en el sotobosque un ambiente propicio para su desarrollo, pudiendo ser el punto de partida para futuras invasiones hacia las áreas menos transformadas de la reserva (Zalba, 1994). A esta problemática, debe sumarse, la percepción de la población, que considera que el ecosistema serrano se recupera rápidamente dado que la vegetación se regenera en pocos meses. Según ellos, los que realmente están afectados son los propietarios de emprendimientos turísticos que ven disminuida la afluencia de turistas en el período de recuperación de la vegetación (Michalijos, 2018).

CAPÍTULO II

IDENTIFICACIÓN, ZONIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ÁREAS AFECTADAS POR INCENDIOS

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios son eventos que se producen regularmente en la comarca de Sierra de la Ventana. Michalijos (2018) ha estudiado el riesgo de incendios forestales en dicho lugar utilizando geotecnologías. En su trabajo ha mostrado una cronología de eventos ocurridos en el período 2004 - 2014, en el cual se contabilizaron 45 incendios, encontrando una gran concentración de los mismos en el acceso a la base del Cerro Ventana (PPET) y el abra de la Ventana. El 37,8% de los incendios se debieron a negligencia, 20% a tormentas eléctricas y 4,4% intencionales, no pudiendo determinarse el origen del porcentaje restante. El 58% de los eventos se registraron en verano.

Por su parte, la Estación Experimental Agropecuaria Bordenave (INTA) (Equipo SIG AER Tornquist, 2018) ha realizado un inventario de los focos de incendio en el área de influencia Bomberos Voluntarios de la localidad de Tornquist para el período 2015 -2018. En total se han registrado 156 focos, de los cuales un 32% se ubicaron próximos a vías de ferrocarril. Se destaca el evento ocurrido el 14 de febrero de 2018, para el cual se estimó que 16.000 hectáreas fueron incendiadas.

Si bien se cuenta con esta información, y para un buen número de eventos se ha calculado la superficie afectada por los eventos (Michalijos 2018; Equipo SIG AER Tornquist, 2018), no se ha encontrado información de las severidades de los eventos ni de las coberturas o uso de suelos afectados.

El objetivo del presente capítulo es identificar, zonificar y caracterizar las áreas afectadas por incendios, ocurridas en el área de estudio en el período 2010 - 2020. Asimismo, clasificar dicha área en severidades de incendio y relacionar con la cobertura de suelo afectada. Esta tarea se realizó con la posibilidad de obtención de imágenes satelitales con resolución espacial y espectral útiles para el procesamiento y clasificación de la información obtenida.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Elaboración de mapa de uso de suelos

La interpretación de la cobertura vegetal y uso del suelo se realizó y representó mediante una zonificación sobre imágenes T20HNC, del satélite Sentinel2, para lo cual se procedió a su reproyección espacial y corrección atmosférica. Se trabajó con la composición RGB 843, por considerarla adecuada para identificar y zonificar el mapa del factor de ordenación de cultivos y diferentes coberturas en la cuenca. Asimismo, se utilizaron imágenes de Google Earth para visualizar por fecha de floración de los

arbustales (retama con flores amarillas) y zonas boscosas para aplicar en una clasificación supervisada. Por su parte, los cultivos agrícolas fueron identificados por su representación en las imágenes satelitales, pudiendo observar asimismo variaciones muy notorias de vegetación en diferentes imágenes satelitales. Aquellos con prácticas conservacionistas fueron discriminados por observación de curvas de nivel en las imágenes.

Luego de obtenidos todos los polígonos correspondientes a cada uso de suelo, se procedió a procesarlos mediante el software QGIS Madeira 3.4.6., aplicando corrección geométrica y posterior unión de los polígonos, obteniendo finalmente un único mapa que integre todos los usos de suelos dentro de los límites del área de estudio. Finalmente, se procedió al cálculo de superficies para cada uso de suelo y su representación porcentual relativa a la superficie total del área de estudio.

2.2. Identificación de eventos de incendios en el área de estudio

Se inició esta etapa con la revisión bibliográfica y noticias de periódico, se identificaron eventos ocurridos en el área de estudio. Entre la revisión bibliográfica, los mayores aportes fueron obtenidos de la Tesis Doctoral de Michalijos (2018, pp 78 - 80), quien en el Capítulo 3 expone un cuadro sintético de ocurrencia histórica de incendios en un sector de la Comarca de Sierra de la Ventana en el período 2004 – 2014. De allí se obtuvo información de cada evento, con detalle de fecha, superficie estimada, lugar de inicio, causa y observaciones. Además, el Equipo SIG AER Tornquist (2018) realizó un informe de focos de incendios de focos de influencia de Bomberos Voluntarios de Tornquist en el período 2015 - 2018.

Por último, se revisó por fecha de eventos, noticias de medios locales y nacionales que trataron incendios ocurridos en el área de estudio del presente trabajo. Entre estos, radio FM de las Sierras 98.1, Urbana 102.7 Radio, Radio Brisas, La Nueva Provincia, Diario El Popular, La Voz del Pueblo, ¡Oh! Laprida, TN y la gente, La Nación, Agrositio y Canal Encuentro. Imágenes de los eventos fueron tomadas de dichos medios y por el autor del presente trabajo.

Toda la información obtenida se utilizó para realizar una breve descripción de los eventos ocurridos.

Además, utilizando el servidor de SATVeg (<https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/>) se procedió a la búsqueda de información pertinente para el área de estudio. SATVeg - Sistema de Análisis de Vegetación Temporal. Es una herramienta web desarrollada por Embrapa Informática Agropecuaria, cuyo objetivo es acceder y ver los perfiles temporales de los índices vegetativos: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y Enhanced Vegetation Index (EVI) del sensor MODIS, en cualquier lugar de América del Sur. Actualizados regularmente, dependiendo de la disponibilidad de imágenes de LP-DAAC / EOS-NASA, SATVeg proporciona al usuario una interfaz de Google Maps para la ubicación de áreas de interés, herramientas para filtrar series temporales, módulos para cargar archivos de vectores, entre otras características. Mediante este servidor se corroboró información previamente recolectada.

2.3. Búsqueda de imágenes satelitales correspondientes a las fechas de eventos de incendios

Utilizando el servidor del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), se procedió a la búsqueda y descarga por fecha y satélites de imágenes satelitales de los satélites Landsat 8 (imágenes OLI) y Sentinel 2,

utilizando imágenes de uno u otro, o ambos, de acuerdo a las fechas previas y posteriores al evento.

Asimismo, se prefirió la utilización de imágenes Sentinel 2 ante las Landsat 8 debido a su mayor resolución espacial (10 metros vs 30 metros), obteniendo mayor detalle para la evaluación de áreas de estudio como también poder identificar diferentes coberturas de suelo. La utilización de imágenes Landsat 8 fueron para fechas en las que no se consiguieran imágenes Sentinel 2 (previas a 2015). La principal limitante que se encontró fue la presencia de nubosidad que interfería con el área de estudio, debiendo optar por la utilización de imágenes libres de nubes de uno u otro satélite de acuerdo a la disponibilidad.

Debido a sus características de resolución temporal, espectral y radiométrica resultan adecuadas para el estudio de variación de cobertura vegetal. Las imágenes se preprocesaron mediante el software QGIS Madeira 3.4.6., con el cual se corrigieron atmosféricamente, obteniendo así valores de reflectancia.

2.4. Estudio de eventos mediante imágenes satelitales y aplicación de Índices de Vegetación

2.4.1. Cálculo de Índices de Vegetación

Para estimar las áreas afectadas por incendios, como así también la severidad de estos en cada área afectada, se calcularon los siguientes índices espectrales sobre las imágenes correspondientes al área de estudio:

- **Índice de Área Quemada (IAQ)** definido por Martín (2001) y recomendado por Michalijos (2013) como mejor índice para estimar áreas afectadas por incendios en área serrana del Sistema de Ventania. Fue creado específicamente para la discriminación de áreas quemadas, se basa en la distancia establecida entre cada pixel y su valor espectral de referencia, al cual las áreas recientemente quemadas tienden a converger. Se calcula a partir de las bandas de imágenes satelitales en el rango del rojo e infrarrojo cercano según la Ecuación 1. El valor del índice será mayor cuanto menor sea la distancia espectral, es decir, cuanto más similar sea a esa cubierta.

$$IAQ=1 / ((Rq - R)^2 + (IRCq - IRC)^2) \quad \text{Ecuación 1}$$

donde $IRCq$ y Rq = reflectividades de referencia (en el infrarrojo cercano 0,06 y rojo 0,1) de una zona quemada conocida y R = rojo y IRC = infrarrojo cercano.

- **Proporción de Quema Normalizada (Normalized Burn Ratio – NRB)**, desarrollado por Hunt Jr. & Rock (1989). Este índice se fundamenta en que la firma espectral de la vegetación sana muestra elevados niveles de reflectividad en el NIR (banda de Infrarrojo Cercano) descendiendo bruscamente hacia el SWIR (banda de Infrarrojo de Onda Corta). Por el contrario, la vegetación afectada por un incendio adquiere un comportamiento opuesto mostrando bajos niveles de reflectividad en el NIR y en ascenso hacia el SWIR en los frentes de incendio. Cuanto más próximas se encuentran las firmas espectrales menor severidad. Cuanto mayor sean las diferencias entre las firmas mayor destrucción vegetal existirá y, por tanto, obtendremos un mayor grado de severidad de incendios durante los análisis. A medida que el territorio se recupera los niveles

de reflectividad de la banda NIR ascenderán mientras comenzará una mayor absorción en el SWIR. El índice NBR permite analizar la severidad que sufre una zona territorial a través de una sencilla relación entre bandas multispectrales siguiendo la siguiente Ecuación 2:

$$\text{NBR} = (\text{IRC} - \text{SWIR}) / (\text{IRC} + \text{SWIR}) \quad \text{Ecuación 2}$$


donde IRC= infrarrojo cercano y SWIR= infrarrojo de onda corta.

- Posteriormente se calculó el **Diferencial NBR (dNBR)** según Ecuación 3

$$\text{dNBR} = \text{NBR pre incendio} - \text{NBR post incendio} \quad \text{Ecuación 3}$$

Los valores obtenidos pueden clasificarse en rango según la Tabla 1. Debe considerarse que, para el análisis del área de estudio, solo fueron graficados los valores $\text{dNBR} \geq 0,1$.

Tabla 1. Grados de severidad de incendios. Fuente: USGS

	Nivel de severidad	dNBR Rango
	Recrecimiento alto	-0,5 a -0,249
	Recrecimiento bajo	-0,25 a -0,099
	Sin quemar	-0,1 a 0,99
	Baja severidad	0,1 a 0,269
	Moderada - baja severidad	0,27 a 0,439
	Moderada - alta severidad	0,44 a 0,659
	Alta - Muy alta severidad	0,66 a 1,3

Referido a la Tabla 1, Campo Velásquez (2012) mediante una revisión bibliográfica concluyó una clasificación según severidades de incendios:

- En los incendios de **baja severidad** el suelo queda cubierto por una capa de cenizas oscuras, el mantillo está parcialmente chamuscado, existe una baja mortalidad de la vegetación y las temperaturas en la superficie del suelo oscilan entre los 100 y 150°C, alcanzando solo los 50°C a 10 mm de profundidad.
- En los incendios de **moderada severidad** se produce la casi completa combustión de la vegetación y del mantillo, aunque no se aprecia una alteración del color del suelo. Las temperaturas máximas alcanzadas en la superficie del suelo se encuentran entre los 300 y 400° C, y a 10 mm de profundidad entre 100 y 200°C.
- En los incendios de **alta severidad** se produce la combustión total de la biomasa, el suelo queda cubierto por una capa de cenizas grises y blancas. Las

temperaturas en la superficie del suelo pueden exceder los 500° C y a 10 mm de profundidad los 250° C.

- **Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI)** que ha sido ampliamente utilizado para la discriminación de zonas quemadas (Pereira et al., 1997). En el presente trabajo se utilizó para estudiar la variación de la vegetación en el tiempo transcurrido posterior al incendio, como así también poder identificar la capacidad de la vegetación para recuperarse. Se calculó mediante la Ecuación 4.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IRC} - \text{R}}{\text{IRC} + \text{R}} \quad \text{Ecuación 4}$$

donde IRC= infrarrojo cercano R= rojo.

A partir de los índices calculados, se crearon mapas para la mejor interpretación de la información obtenida. En primer lugar, se construyó un mapa para el IAQ, y luego otro para las severidades calculadas a partir del dNBR, con el cual se pudo cruzar información con coberturas afectadas para el área de estudio.

Para cada incendio, mediante imágenes satelitales se detectaron las diferentes coberturas, especialmente la variación de coberturas arbóreas, la cual, junto al arbustal, son las coberturas que más varían en los años y que más dinámica de regeneración presentan debido al efecto de los incendios.

2.4.2. Comparación entre valores de NDVI en momentos estudiados

Mediante la función de creación de ráster virtual, se procedió a la superposición de tres imágenes correspondientes a tres fechas con sus respectivos valores de NDVI en el área de estudio. De esta manera, se interpretó en una sola imagen como varió dicho valor en los tres momentos estudiados. A partir de dicho mapa, se tomaron puntos referentes de vegetación para analizar sus valores exactos e interpretar como variaron los valores de acuerdo con la vegetación preexistente.

2.5. Variación de valores de NDVI en período 2016 -2020

Se realizó una comparación de Índices de vegetación en un período que integra momentos iniciales sin incendios (años 2016 y 2017), momento previo de incendio (2018) y momentos posteriores a incendios (2019 y 2020). Para disminuir diferencias de valores por época de año, se utilizaron imágenes satelitales de Sentinel 2 del mes de enero para todos los momentos.

Se tomaron puntos referenciales de vegetación afectada y no afectadas por incendios, teniendo como referencia las coberturas estudiadas previamente y las existentes al año 2020. A partir de estos puntos, se compararon los valores calculados de NDVI para cada cobertura.

2.6. Variación de cobertura forestal

Mediante la utilización de imágenes satelitales Sentinel 2 e imágenes de Google Earth, (las cuales presenta una buena resolución espacial, pudiendo observar bien en detalle y en color natural las coberturas existentes), se realizó un trazado de polígonos de áreas con presencia de bosque para 4 momentos: año 2010, 2013, 2017 y 2020. A partir de

estos datos se realizó una clasificación supervisada con el complemento Semi Automatic Classification de QGis, otorgando valores correspondientes a NDVI de la cobertura en cuestión. De esta manera, se diferenció la cobertura arbórea de cobertura arbustal, comparando también con imágenes de Google Earth para la fecha de floración de la retama (noviembre), las cuales en color natural se observa su color amarillo característico. Esto mismo también sirvió para poder trazar polígonos correspondientes a esta cobertura.

La elección de dichos momentos representa inter-períodos de igual o similar tiempo, y corresponde a los momentos iniciales y finales del período, como así también momentos previos a los incendios estudiados, pudiendo determinar coberturas arbóreas afectadas por estos.

3. RESULTADOS

3.1. Coberturas y usos de suelo

La cuenca del Arroyo Ventana presenta dos áreas diferenciadas de coberturas de suelo debido a sitios con roca en superficie. Por un lado, el sector este de la cuenca presenta pastizales serranos, mientras que el sector oeste corresponde a áreas de lomadas con presencia de zonas urbanas y cultivos agrícolas, como se representa en la Figura 12.

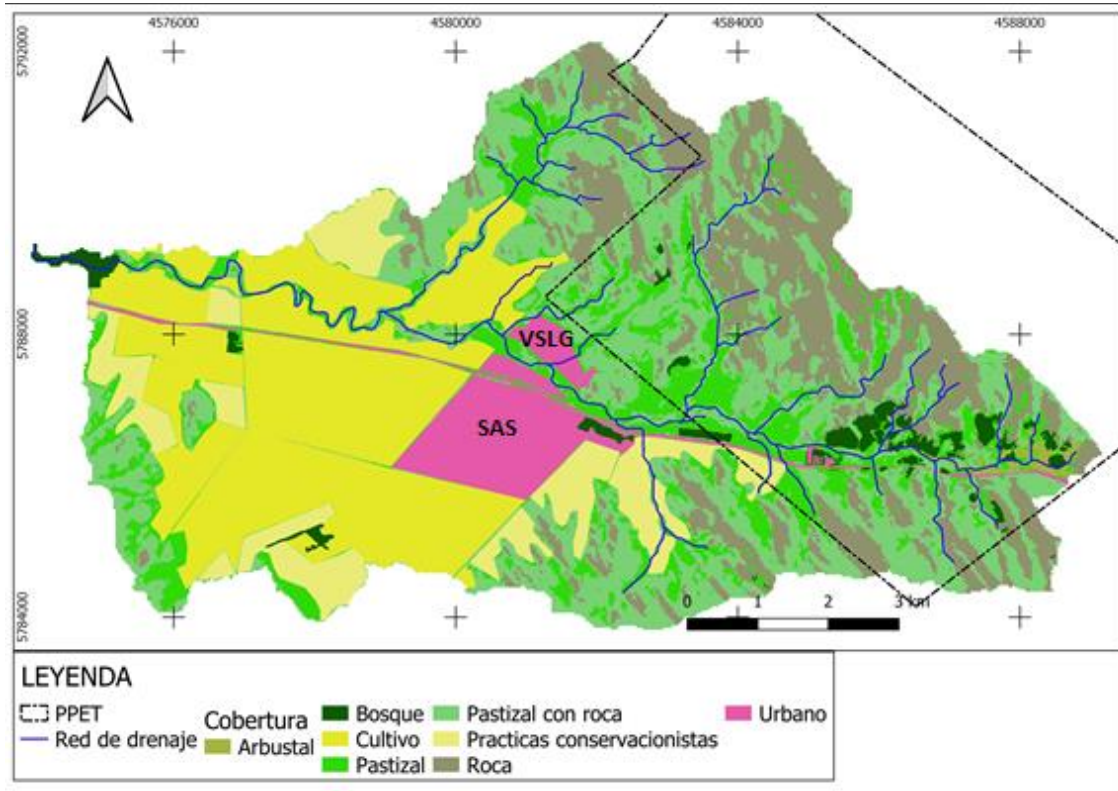


Figura 12. Mapa de usos de suelo para la Cuenca del Arroyo Ventana. Año 2020.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 13 denota que la cobertura del suelo está dominada en su mayoría por tres tipos coberturas: pastizales (41,9%), cultivos agrícolas (31,2%) y roca en superficie (18,5%). El área boscosa representa sólo un 2,2% del total de la cuenca.

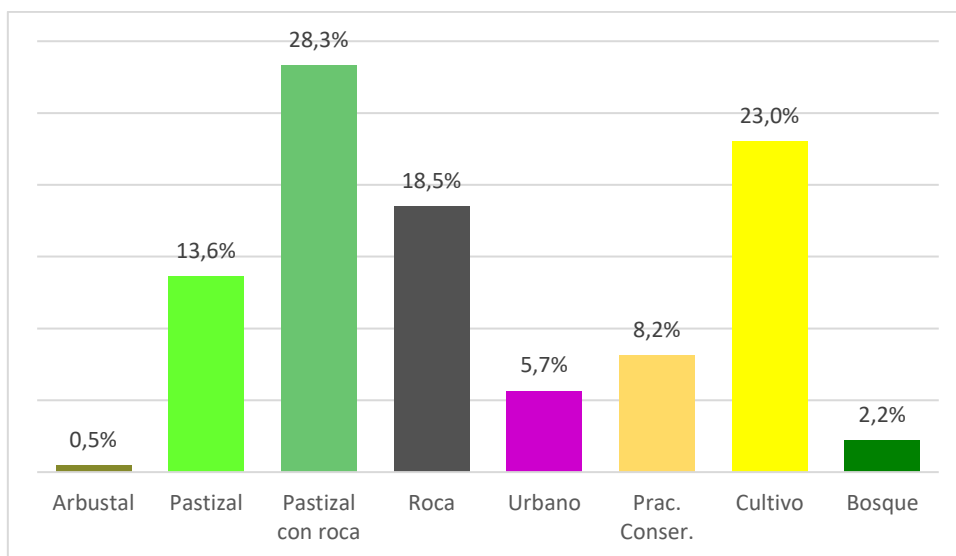


Figura 13. Porcentual de ocupación en superficie de coberturas de suelo en cuenca del Arroyo Ventana. Fuente: Elaboración propia.

3.2. Identificación de eventos de incendios en el área de estudio

La variación de los valores de NDVI para el período 2010 - 2020 obtenidas con SATVeg se representan en la Figura 14. Los puntos mínimos de las fechas 19 de diciembre de 2013 y 22 de marzo de 2018 son fechas durante el incendio que permitieron identificar claramente los menores valores de NDVI registrados en el área (< 0,25), debido al déficit de vegetación verde / vigorosa y/o vegetación quemada, los cuales se corresponden a las fechas de los incendios evaluados a continuación.

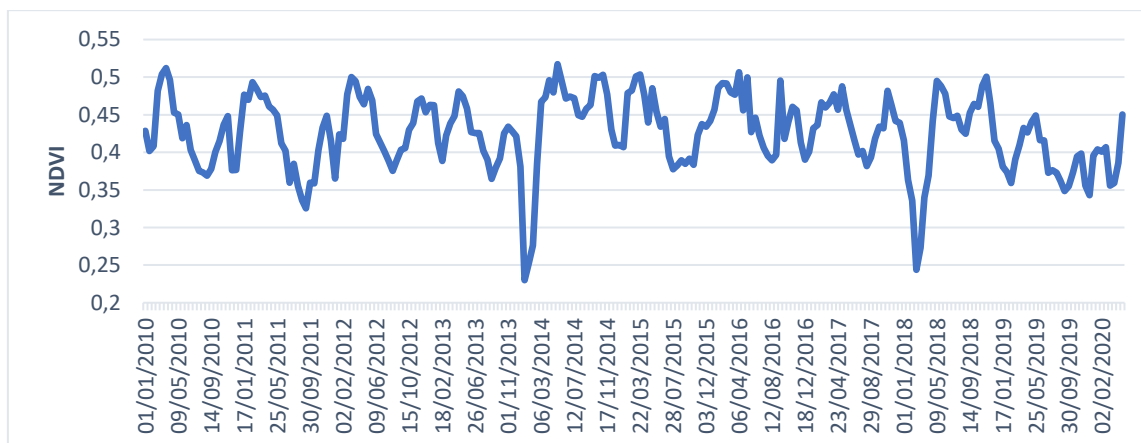


Figura 14. SATVeg. Variación de NDVI del período enero 2010 hasta febrero 2020.

Si bien se han registrado otros focos en el período graficado, cobran mayor relevancia los dos mencionados anteriormente, por sus dimensiones y severidades, como así también haber afectado en gran medida el área de estudio.

Incendio 2013-2014

Este gran evento se desarrolló entre el 29 de diciembre de 2013 y el 4 de enero de 2014. Medios locales y nacionales informaron en su momento que 48.000 hectáreas fueron incendiadas, de las cuales 6.200 pertenecen al PPET (Figuras 15 a 22). Hugo Bilbao, exdirector ejecutivo del Organismo Para el Desarrollo Sostenible (OPDS) de la Provincia de Buenos Aires mencionó que este incendio fue *“el más grande de la historia para la provincia de Buenos Aires”*.

En el lugar trabajaron dos aviones hidrantes, dos helicópteros, 35 dotaciones de bomberos de diez localidades, 250 bomberos distribuidos en los sectores afectados, 40 infantes de la Armada Argentina, y 25 guardaparques (Figura 15).

En cuanto a las particularidades que originaron el incendio, más allá de que tuvo origen en una vivienda, Belardinelli (productor ganadero de la zona) (Figura 22) enunció tres potencialidades: *“Primero, el hecho de que las sierras no se habían quemado desde hacía años, era un elemento que sumaba posibilidades de que ocurriera. En segundo lugar, el 2013 trajo muchas lluvias en agosto y septiembre, es decir que se trató de una primavera muy buena, y en cuanto a la oferta forrajera estaban muy bien empastadas las sierras, y para remate, desde esa fecha se cortó el período de lluvias, con nulidad de registros en todo noviembre y diciembre, por ende, se dio el marco perfecto con esa seca, para que se produjeran los incendios, con mucho material para quemar y encima con temperaturas por encima de lo normal”* (Agrositio, 2014).

Por su parte, el Guardaparque Maximiliano D'onofrio en una entrevista de la radio FM de las Sierras 98.1 manifestó que las mayores pérdidas se debieron a quemado de alambrado y que los incendios en la base del Cerro Ventana fueron muy intensos, contabilizando 17 focos en las zonas aledañas al PPET (Figura 16-21). Además, reconoció que si bien el fuego es un elemento natural de los pastizales (en relación con aquellas especies que necesitan del fuego para reproducirse y “bulbos que se rejuvenecen”), este fue un evento no natural, intensificado por cambios en la dirección de los vientos y elevada presencia de combustible. Asimismo, reconoció que la presencia de la retama comunica los pastizales con los pinares, razón por la cual gran parte de estos se vieron afectados.

En el período comprendido entre diciembre de 2013 y marzo de 2014 se registró una secuencia de 4 meses consecutivos en los cuales se registraron menos precipitaciones acumuladas en comparación con las medias mensuales. Especialmente se registraron 35 mm en diciembre de 2013 (media mensual histórica de 83 mm) denotando un déficit hídrico relacionado al evento mencionado. Asimismo, los meses de octubre y noviembre registraron valores de 71 y 81 mm respectivamente, comparado con la media mensual del período 2010 – 2020 (87mm y 91mm respectivamente).



Figura 15. Fuente: radiobrisas.com (2014)



Figura 16. Fuente: Código Baires (2014)



Figura 17. Fuente: TN y la gente (2014).



Figura 18. Fuente: captura video <https://www.youtube.com/watch?v=22slQwjibgg> . Autor: Sebastián Igareta



Figura 19. Autor: J.M. Cellini. (10/04/2014).



Figura 20. Autor: J.M.Cellini. (10/04/2014)



Figura 21. Autor: J.M.Cellini. (10/04/2014).



Figura 22. Supuesto lugar de inicio del evento.
Fuente: Urbana 102.7 Radio (2014).

Incendio 2018

Este evento se desarrolló principalmente entre los días 31 de enero de 2018 y 5 de febrero de 2018, continuándose en los días posteriores con menos superficie afectada. El día 18 de febrero de 2018 se registraron precipitaciones de entre 48 mm y 80 mm lo cual ayudó a controlar los frentes (Oh!Laprida, 2018). Medios locales informaron que por lo menos 10.000 hectáreas fueron incendiadas (Figuras 23 y 24), afectando numerosas hectáreas de bosque (Figuras 29 y 30). Asimismo afirmaron que el control del incendio se vio dificultado debido a las elevadas temperaturas, vientos constantes, presencia de pastizales secos debido a la escases de precipitaciones (15mm en enero) y rastrojos de cosechas (La Nueva, 2018; La Voz del Pueblo, 2018).

Más de 250 personas entre bomberos y vecinos trabajaron con autobombas, aviones hidrantes y un helicóptero para que no avance el fuego hacia el PPET, Villa Ventana y alrededores. Los Bomberos de Villa Ventana, Saldungaray, Coronel Suárez, Cabildo, Coronel Dorrego, Monte Hermoso, Punta Alta, Coronel Pringles, Tornquist, Saavedra y Bahía Blanca trabajaron en el lugar (Figura 25).

En el período comprendido entre octubre de 2017 y febrero de 2018 se registró una secuencia de 4 meses consecutivos en los cuales se registraron menos precipitaciones acumuladas en comparación con las medias mensuales. Especialmente, se registraron solo 5,82 mm en enero de 2018 (media mensual histórica de 68 mm, y de 104 mm para el período 2010 - 2020) denotando un déficit hídrico relacionado al evento mencionado. Asimismo, los meses de octubre, noviembre y diciembre registraron valores de 47, 56 y 42 mm respectivamente, comparado con la media mensual histórica (69, 70 y 83 mm respectivamente). En febrero de 2018 se registraron dos días de precipitaciones que acumularon 62 mm, evento que desencadenó procesos erosivos por efecto de los incendios registrados previamente, como se muestra en las Figuras 26, 27 y 28.



Figura 23. Fuente: La Voz del Pueblo (2018).



Figura 24. Fuente: La Nueva (2018). Fotos: Martín Hagg



Figura 25. La Nación (2018).



Figura 26. Fuente: Oh!Laprida (2018). Fotos: Walter Fernando Mendez.



Figura 27. Fuente: Oh!Laprida (2018). Fotos: Walter Fernando Mendez.



Figura 28. Fuente: Oh!Laprida (2018). Fotos: Walter Fernando Mendez.

Se puede observar como las llamas no cruzaron la Ruta Provincial 76 hacia el PPET.



Figura 29. Fuente: propia. (30/03/2018)



Figura 30. Fuente: propia. (30/03/2018)

3.3. Búsqueda de imágenes satelitales correspondientes a las fechas de eventos incendiados

En los dos eventos estudiados (2013-2014 y 2018) se utilizaron imágenes satelitales previas al evento denominadas Momento 1 (M1); posteriores inmediatas, denominadas Momento 2 (M2); y posteriores a las últimas denominadas Momento 3 (M3). De esta manera los momentos utilizados en cada evento fueron:

- Incendio 2013-2014: se utilizaron imágenes Landsat (OLI) para eventos ocurridos entre los días 29 de diciembre de 2013 y 05 de enero de 2014
 - M1: 23 de diciembre de 2013.
 - M2: 08 de enero de 2014.
 - M3: 20 de marzo de 2014.

- Incendio 2018: se utilizaron imágenes Sentinel 2, para eventos ocurridos entre los días 02 de febrero de 2018 y 14 de febrero de 2018
 - M1: 07 de enero de 2018.
 - M2: 26 de febrero de 2018.
 - M3: 18 de diciembre de 2018.

Los M3 presentan un diferente período de tiempo M2-M3 para cada evento. Esto se debe a que para el evento del 2018 el tiempo para recuperación de vegetación no resulta suficiente debido al otoño venidero, es decir, un período donde se puedan identificar cambios significativos en la vegetación.

Para una mejor interpretación de los resultados obtenidos para cada evento se presentan por separado los incendios estudiados.

3.4.a. Estudio de eventos mediante imágenes satelitales y aplicación de Índices de Vegetación. Incendio 2013-2014

3.4.1. Cálculo de índices de vegetación

Mediante la obtención del IAQ se determinó que este evento afectó 31.850 hectáreas, de las cuales 5.379 hectáreas corresponden al PPET (un 76,5% del total de su superficie), y 3.937 hectáreas a la Cuenca del Arroyo Ventana, considerando además que un 51,8% de su superficie fueron afectadas por el fuego, de las cuales 2.259 hectáreas corresponden al PPET. Espacialmente se representa en la Figura 31.

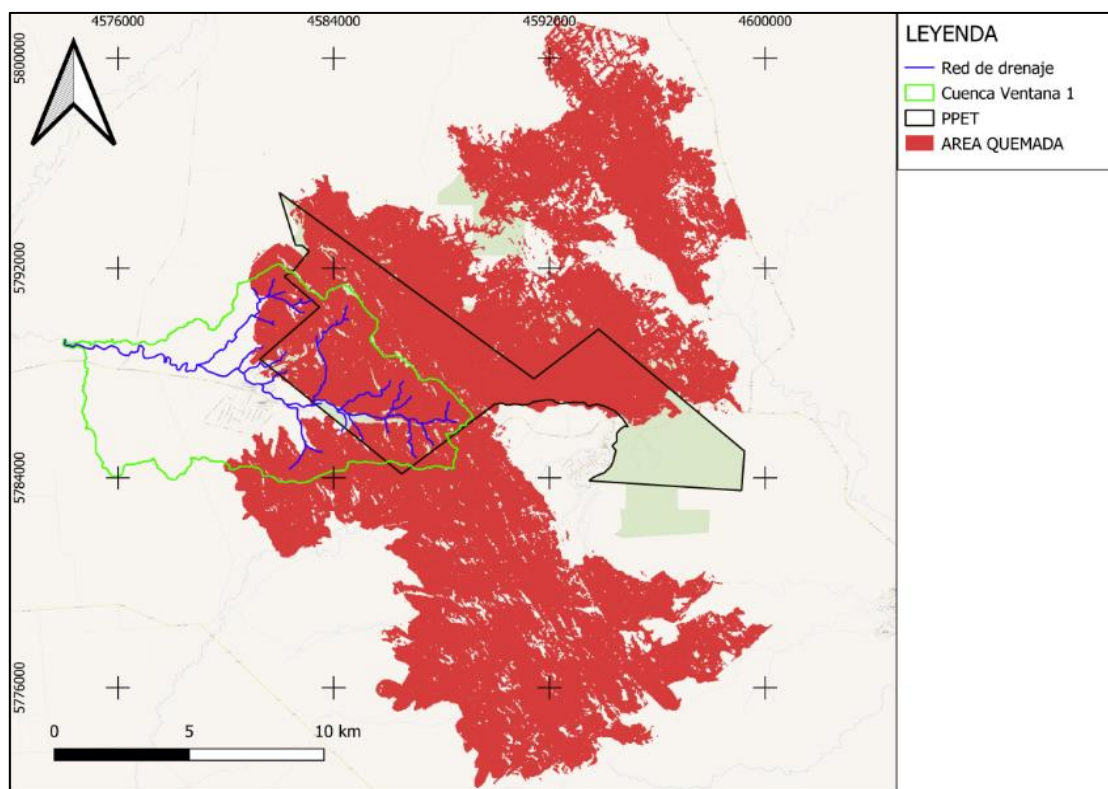


Figura 31. Índice de Área Quemada para el evento 2013-2014.

Mediante el cálculo de índice NBR y dNBR se realizó el mapa de severidades para toda la superficie que abarcó el evento (Figura 32), el cual indica que el 42% de la superficie incendiada corresponde a severidades alta y muy alta, restando un 40% para la categoría moderada y un 18% para la categoría baja.

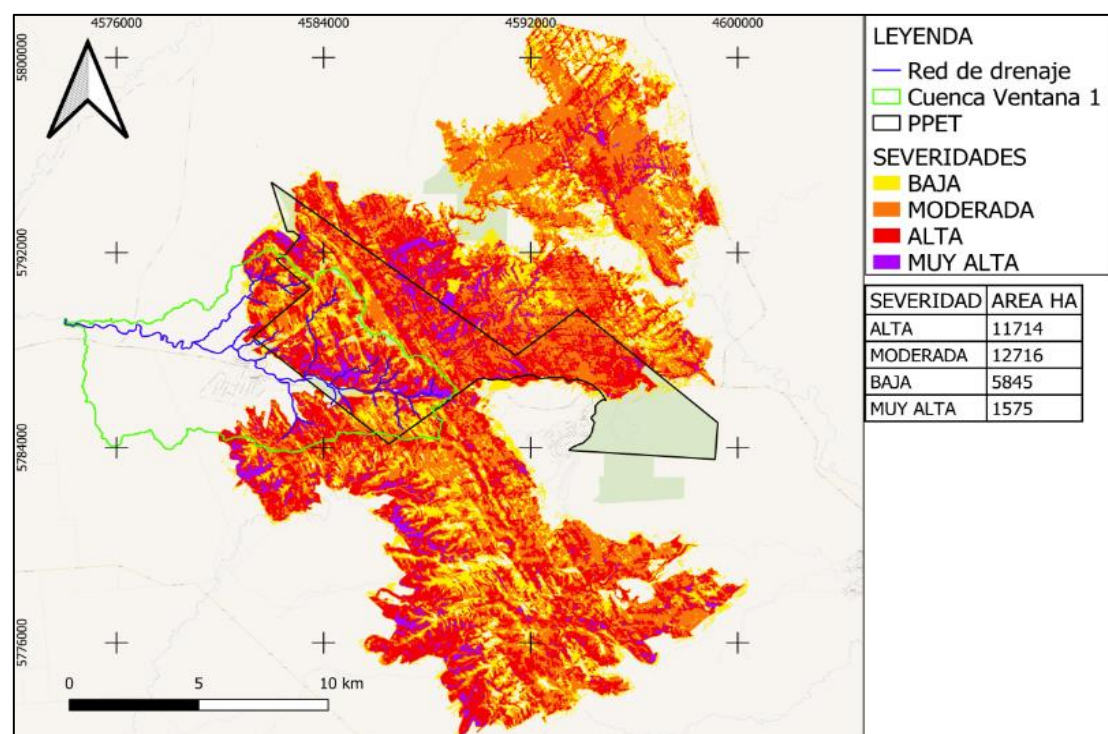


Figura 32. dNBR para el evento 2013-2014

En la Figura 33 se representa el detalle de dNBR para el área de estudio. Se observa concentración de áreas de muy alta severidad en zonas correspondientes a pastizales y bosque, en la base del Cerro Ventana. Las severidades se encuentran representadas: bajo (18,5%), moderado (32,3%), alto (41,1%), muy alto (7,9%), todas distribuidas dentro del área serrana.

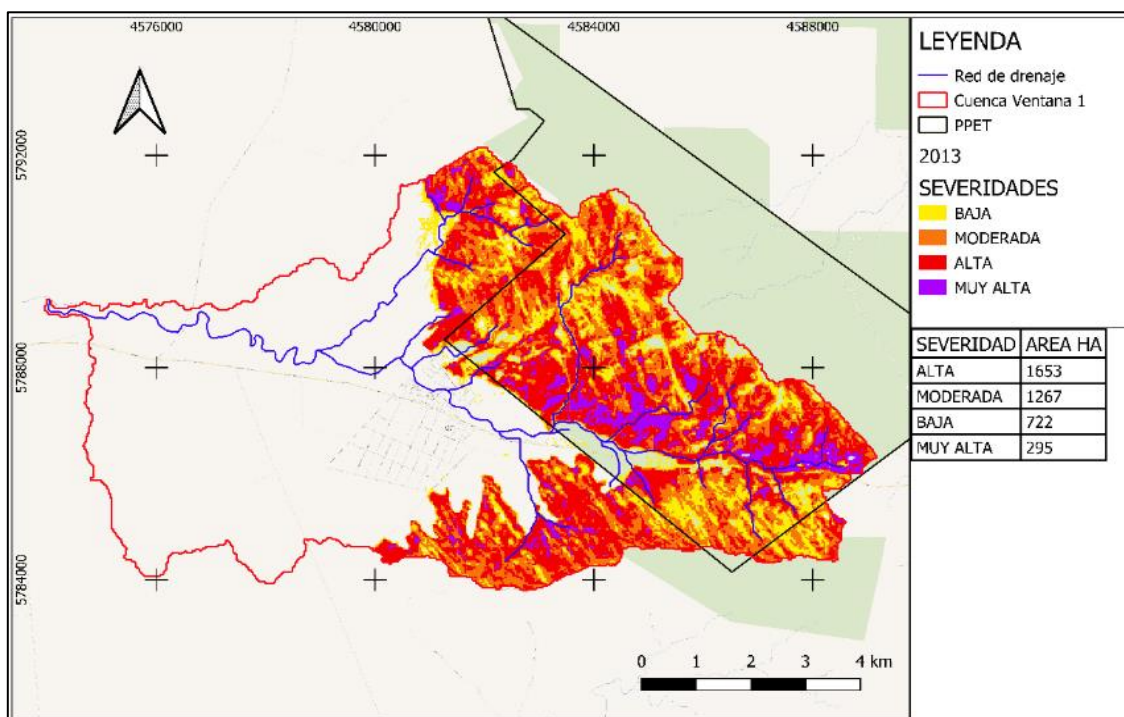


Figura 33. dNBR para el área de estudio. Detalle.

Se determinó que las mayores áreas afectadas pertenecen a coberturas de roca (1.294 ha), pastizal con roca (1.563 ha) y pastizal (644 ha) (Figura 34), mostrando que las categorías alto y moderado son las que más se encuentran representadas (77% para pastizal con roca; 75% para roca). La superficie de arbustal presenta solo las severidades alto y muy alto. Por su parte, las áreas urbano y cultivos agrícolas presentan baja representatividad sobre el total, aunque estas probablemente sean áreas que se ven afectadas en cuanto a un contexto socioeconómico (66 ha, un 1,7% del total de la superficie afectada).

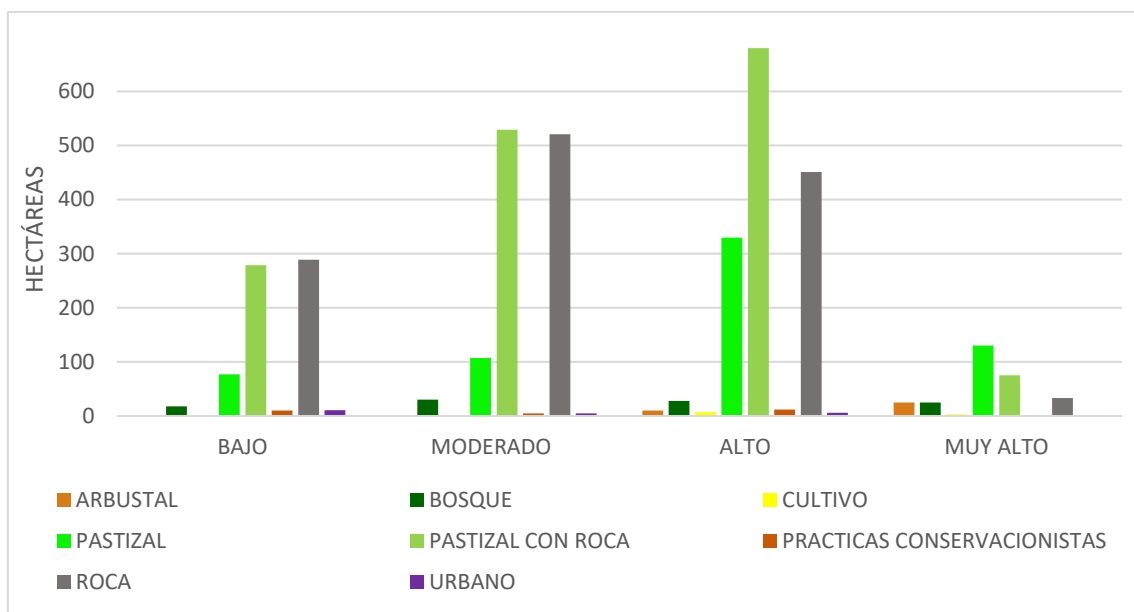


Figura 34. Superficie de ocupación según severidades del evento para cada cobertura y uso del suelo para el año 2013.

La cobertura pastizal se destaca por representar severidad alta en un 51% de su superficie afectada. Es probable que dicha vegetación presentara al momento del incendio gran cantidad de material combustible, aumentando la severidad del evento. Asimismo, debe tenerse en cuenta, que gran parte de la superficie representada por pastizal y pastizal con roca, se encuentra cubierta por pinos dispersos, que no llegan a formar masas boscosas, donde sí crece pastizales por debajo, a diferencia de pinares densos donde el suelo solo se encuentra cubierto por la hojarasca de los mismos árboles.

En cuanto a la superficie de bosque incendiadas (101 ha), las categorías se encuentran representadas equitativamente. Esto puede deberse a cuanto ha consumido el incendio dicha vegetación, pudiendo encontrarse en imágenes posteriores al evento masas boscosas que han sido afectada por el incendio pero que mostraron reverdecimiento en sus copas, de manera que para que esto ocurra el fuego no debería haber quemado con gran intensidad. Por último, para poder diferenciar mejor las categorías de bosque incendiado, debería tenerse en cuenta las diferentes densidades que presentaban esos bosques previo a los eventos, como así también la cantidad de hojarasca presente en el suelo.

3.4.2. Comparación entre valores de NDVI en momentos estudiados

Según se observa en la Figura 35, se registró una pronta recuperación del área afectada debido a la capacidad de regeneración de las plantas herbáceas acostumbradas ecológicamente a los incendios. Es así que se observan comparativamente sitios que presenta aún mayores valores de NDVI post incendios que previo. Asimismo, sitios correspondientes a roca en superficie o pastizales con roca, no recuperan sus valores de NDVI.

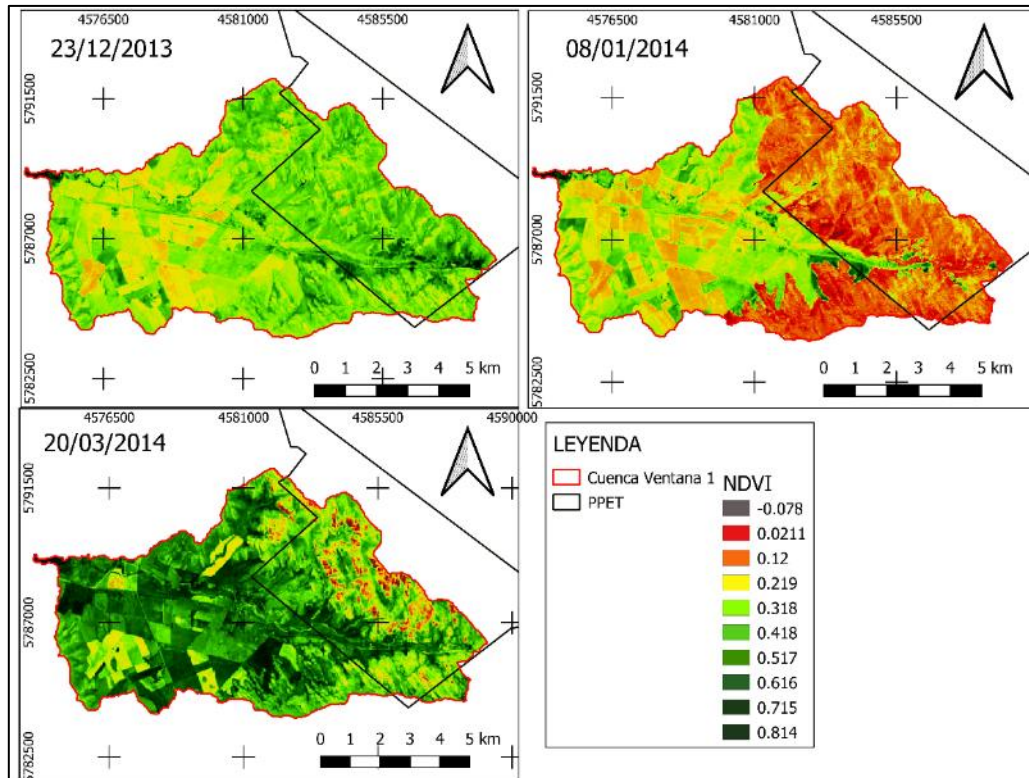


Figura 35. Variación de NDVI en tres momentos. Momento 1: previo al incendio, 23/12/2013 (arriba izquierda). Momento 2: posterior al evento, 08/01/2014 (arriba derecha). Mes siguiente, 20/03/2014 (abajo).

La Figura 36, representada por un ráster virtual creado a partir de las imágenes satelitales de los tres momentos estudiados, muestra espacialmente los puntos estudiados en la Tabla 2, donde los diferentes colores representan la media de cada píxel según sus valores de NDVI en los tres momentos estudiados, que expresan las situaciones según:

- Violeta: sitios afectados por incendio que han recuperado vegetación, con valores superiores a los preexistentes. Por ejemplo, pastizales.
- Verde: sitios afectados por incendio que han recuperado sus valores preexistentes. Por ejemplo, pastizal con roca y roca y arbustales.
- Blanco: representa sitios con vegetación vigorosa (cultivos o bosques) que no han sido afectados por el incendio y que mantuvieron constantes sus valores de NDVI.
- Rojo: sitios afectados por incendio, que no han logrado recuperar sus valores preexistentes. Por ejemplo, bosques incendiados.
- Azul: sitios no afectados por incendio, que, una vez pasado el evento, mostraron un incremento en valores de NDVI, probablemente por haber superado un momento de estrés hídrico. Por ejemplo, pastizales no incendiados.
- Amarillo: sitios que no han sido afectados por incendios, que mantuvieron sus valores durante el evento, pero que posteriormente mostraron valores inferiores. Representa cultivos que han sido cosechados en ese intervalo de tiempo.

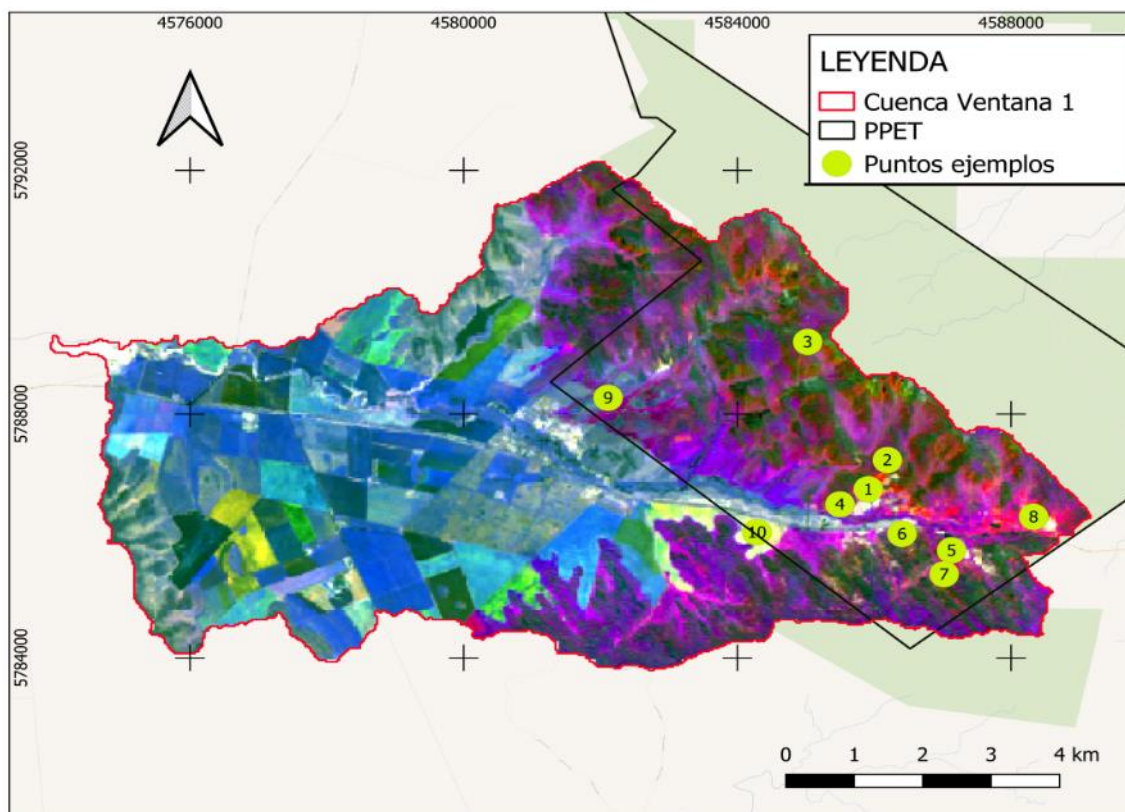


Figura 36. Ráster virtual para evento 2013-2014.

El estudio en detalle de variación de valores de NDVI discriminado por coberturas afectadas se representa en la Tabla 2.

Tabla 2. Variación de valores de NDVI en los tres momentos para evento 2013-2014.

PUNTO	Cobertura	M1	M2	M3
1	Bosque incendiado	0,58	0,02	0,03
2	Pastizal	0,39	0,12	0,47
3	Pastizal con roca	0,35	0,16	0,40
4	Bosque incendiado	0,49	0,23	0,36
5	Bosque incendiado	0,50	0,07	0,46
6	Bosque NO incendiado	0,78	0,79	0,80
7	Roca	0,24	0,17	0,24
8	Arbustal	0,63	0,08	0,53
9	Pastizal no incendiado	0,29	0,24	0,50
10	Cultivo no incendiado	0,53	0,53	0,54

Se evidencia la rápida recuperación de la vegetación, mostrando valores próximos a los preexistentes a los 3 meses del evento, o también superiores. Esta recuperación se debe a que la vegetación afectada corresponde en mayor medida al pastizal pampeano, donde las gramíneas poseen una densa red subterránea de raíces y la yema de crecimiento se encuentra en la base de la planta, por ello rebrotan fácilmente luego de los incendios. Sin embargo, zonas bocosas que han sido afectadas no recuperan sus valores preexistentes en el período estudiado, relacionadas estas mayoritariamente a severidades altas, donde ocurre la casi completa combustión de la vegetación y del mantillo, dificultado la posterior regeneración.

3.4.b. Estudio de eventos mediante imágenes satelitales y aplicación de Índices de Vegetación. Incendio 2018

3.4.1. Cálculo de índices de vegetación

Mediante la obtención de IAQ se determinó que este evento afectó 17.987 hectáreas, de las cuales 459 hectáreas corresponden al PPET (un 6,53% del total de su superficie), y 1.091 hectáreas a la Cuenca del Arroyo Ventana (un 14,3% de su superficie) representadas espacialmente en la Figura 37.

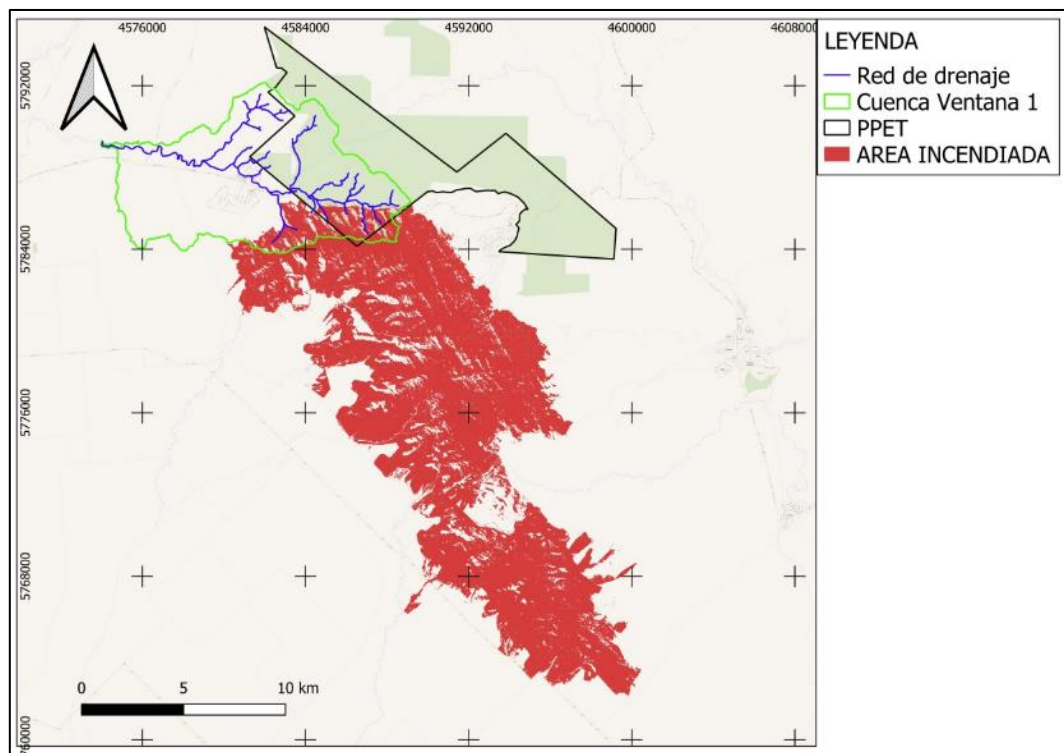


Figura 37. Índice de Área Quemada para el evento 2018.

Mediante el cálculo de índice NBR y dNBR se realizó el mapa de severidades para toda la superficie que abarcó el evento (Figura 38) identificando que el 37,7% de la superficie incendiada corresponde a severidades alta y muy alta, restando un 39% para la categoría moderada y un 24% para la categoría baja.

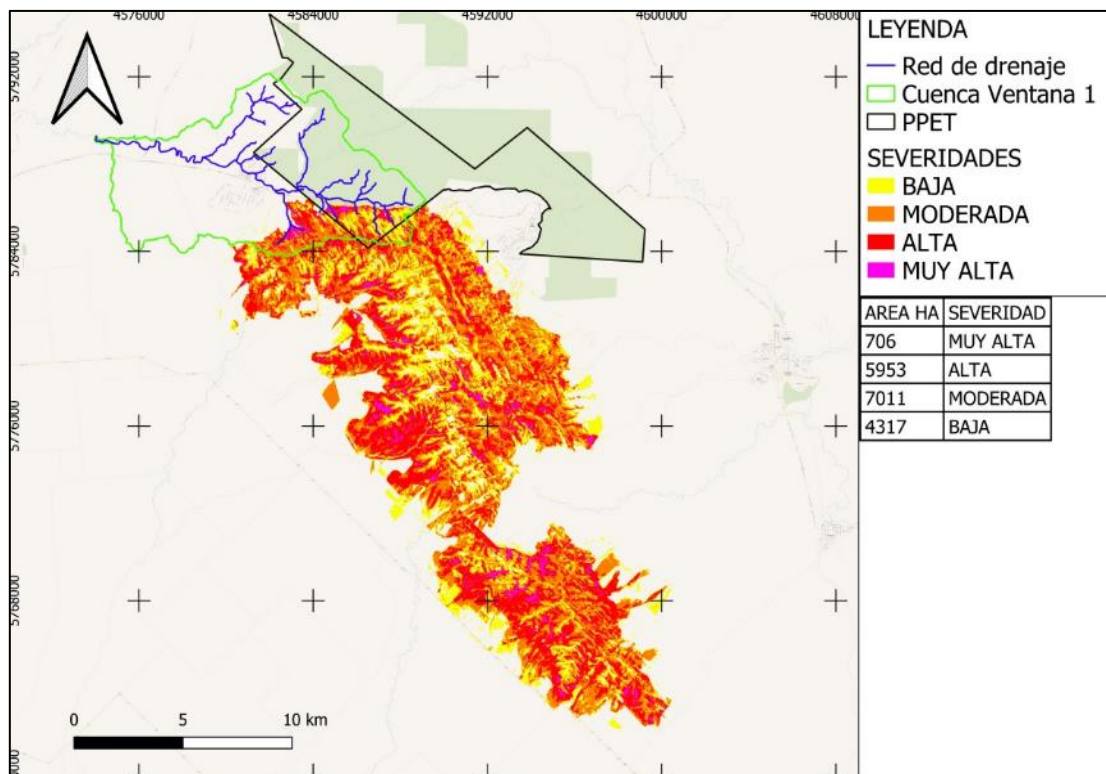


Figura 38. dNBR para el evento 2018.

En la Figura 39 se representa el detalle de dNBR para el área de estudio. Se observa concentración de áreas de muy alta severidad en zonas correspondientes a pastizales y bosque en áreas correspondientes al Triángulo Sur del PPET. Las severidades se encuentran representadas: bajo (26%), moderado (39%), alto (27%), muy alto (8%).

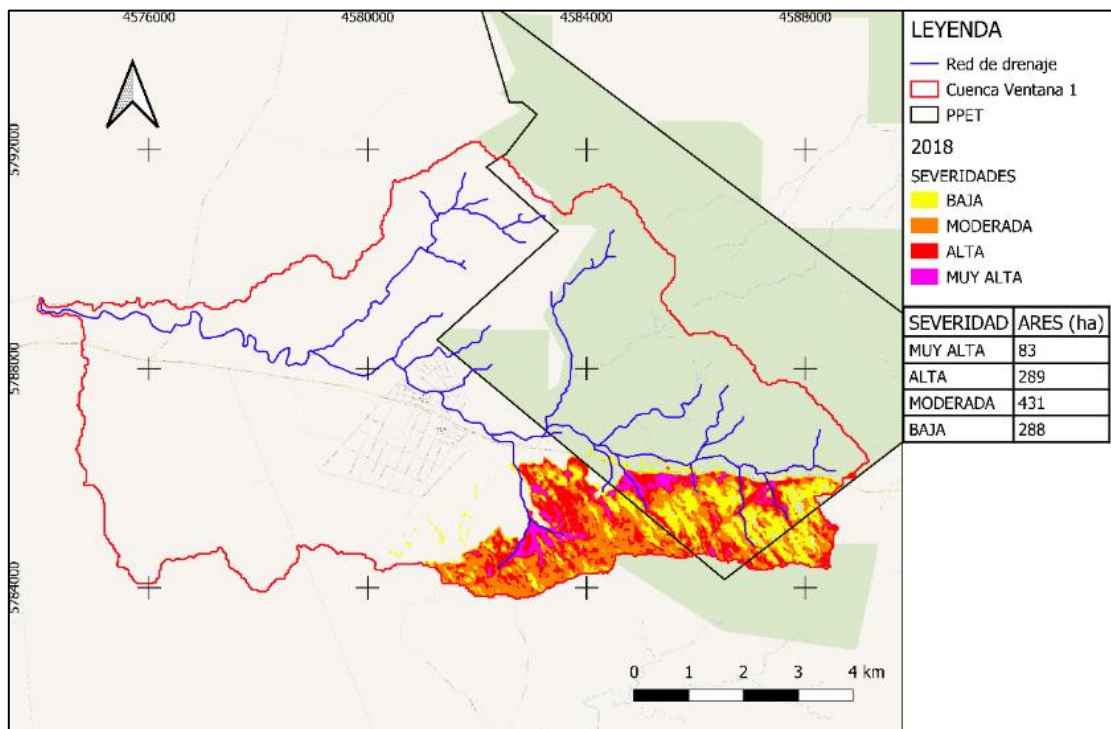


Figura 39. dNBR para el área de estudio. Detalle para área de estudio.

Las mayores áreas afectadas pertenecen a coberturas de roca (283 ha), pastizal con roca (539 ha) y pastizal (186 ha) (Figura 40), mostrando que la categoría moderado es la que más se encuentra representada (40% para roca, 45,6% para pastizal con roca;). Se destaca que la categoría muy alto se encuentra en gran medida representada por el pastizal, probablemente debido a su gran cantidad de material combustible presente previo al evento, a diferencia de los sitios de pastizal con roca y roca donde las coberturas son menos densas o casi nulas.

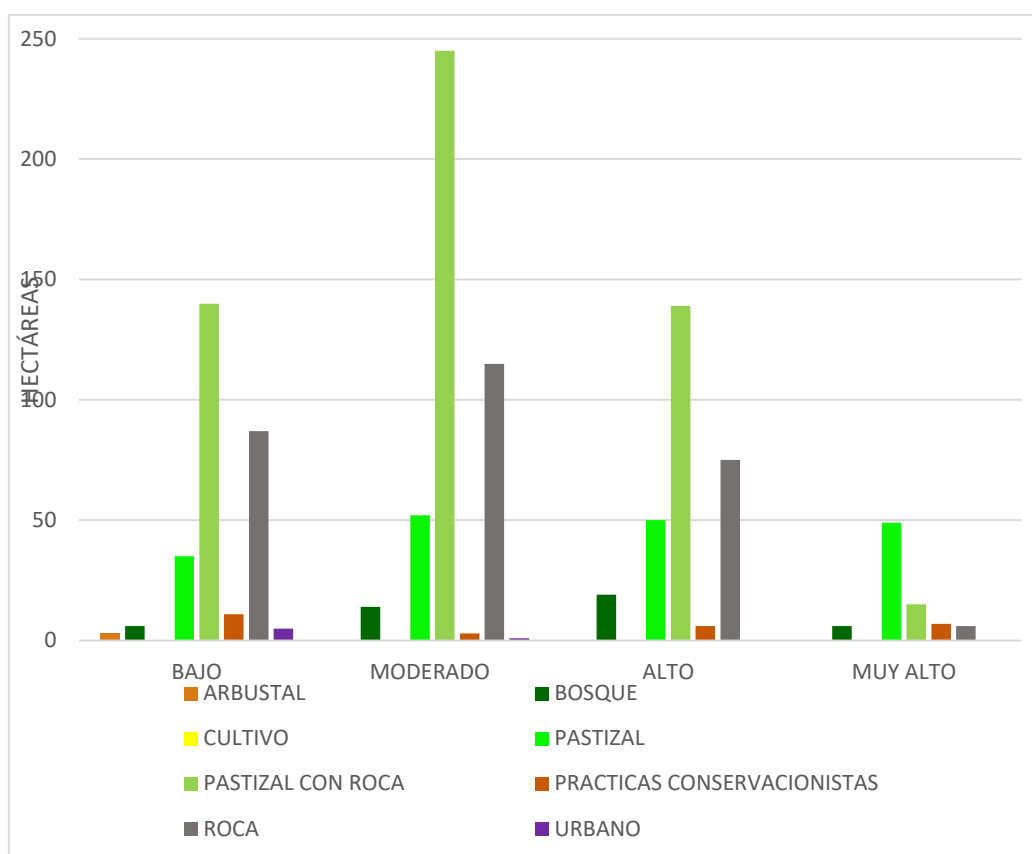


Figura 40. Superficie de ocupación según severidades del evento para cada cobertura y uso del suelo para el año 2018.

Por su parte, las áreas urbano, cultivos agrícolas y arbustal no presentan áreas representativas sobre el total, aunque estas probablemente sean áreas que se ven afectadas en cuanto a un contexto socioeconómico (30 ha, un 2,7% del total de la superficie afectada).

En cuanto a las áreas de bosque, fueron afectadas 45 ha (4,1% del total de la superficie afectada). El 73% de dicha superficie representa las categorías moderado y alto. Es importante destacar que gran parte de la superficie boscosa afectada por este incendio, fue también incendiada en el evento precedente, por lo cual pudo haber afectado renovales establecidos post incendio, como así también zonas arboladas que no fueron afectadas en dicho evento.

3.4.2. Comparación entre valores de NDVI en momentos estudiados

Según se observa en la Figura 41, ocurre una pronta recuperación del área afectada debido a la capacidad de regeneración de las plantas herbáceas acostumbradas ecológicamente a los incendios. Es así que se puede determinar comparativamente sitios que presentan aún mayores valores de NDVI post incendios que previo. Asimismo, sitios correspondientes a roca en superficie o pastizales con roca, no recuperan sus valores de NDVI. Las variaciones de valores en zonas de cultivos agrícolas se deben a momentos de cosecha y siembra de los respectivos cultivos.

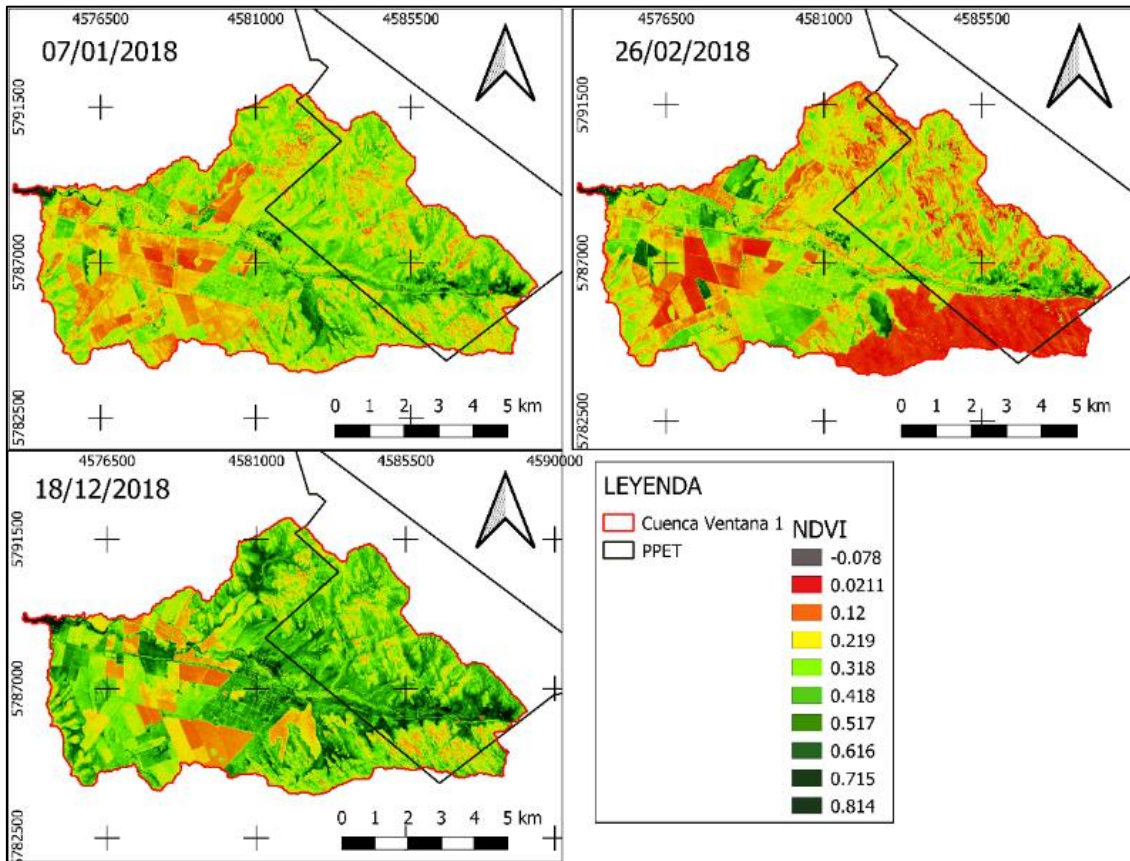


Figura 41. Variación de NDVI en tres momentos. Momento 1: previo al incendio, 07/01/2018 (arriba izquierda). Momento 2: posterior al evento, 26/02/2018 (arriba derecha). Primavera siguiente, 18/12/2018 (abajo).

La Figura 42 representada por un ráster virtual creado a partir de las imágenes satelitales de los tres momentos estudiados, mostrando espacialmente los puntos estudiados en la Tabla 3, donde los diferentes colores representan situaciones según se explicó para el Evento 2013 – 2014.

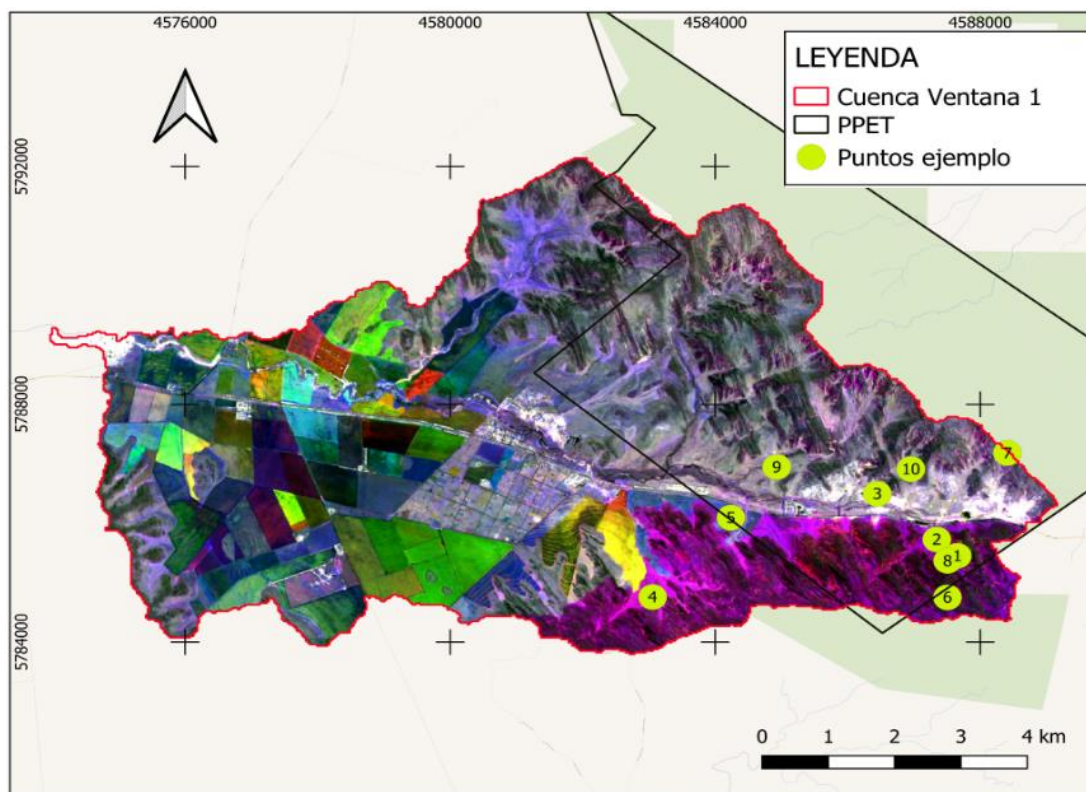


Figura 42. Raster virtual para evento 2018.

El estudio en detalle de variación de valores de NDVI discriminado por coberturas afectadas se representa en la Tabla 3.

Tabla 3. Variación de valores de NDVI en los tres momentos estudiados para evento 2018

Punto	Cobertura	M1	M2	M3
1	Bosque incendiado	0,50	0,00	0,22
2	Bosque no incendiado	0,67	0,65	0,73
3	Bosque no incendiado	0,66	0,55	0,79
4	Cultivo incendiado	0,50	0,12	0,63
5	Cultivo no incendiado	0,19	0,18	0,44
6	Pastizal con roca incendiado	0,18	0,09	0,19
7	Pastizal con roca no incendiado	0,21	0,15	0,30
8	Pastizal incendiado	0,30	0,08	0,38
9	Pastizal no incendiado	0,34	0,32	0,41
10	Roca no incendiado	0,14	0,10	0,24

Así como se mencionó para el evento anterior, los valores de NDVI se recuperan para el momento posterior al evento, donde se observan valores aún mayores. Esto puede ser debido a la fecha del momento estudiado, siendo diciembre aún primavera correspondiendo a época de mayor oferta forrajera, por lo tanto, mayores valores de NDVI. Asimismo, los valores de bosque incendiado muestran valores mayores que el evento anterior, no pudiendo determinar si esto se debe a pastizales establecidos en el sitio o reverdecimiento de la vegetación preexistente, teniendo en consideración que la clasificación de severidad para dicha ubicación fue de muy alto.

3.5. Variación de valores de NDVI en período 2016-2020

En primer lugar, con el cálculo de valores de NDVI para los años indicados, se obtuvo una composición (Figura 43) donde se puede observar la variación de los valores de NDVI. Se destaca, a primera vista, mayores valores en toda el área para el año 2016, vinculado probablemente a las recurrentes precipitaciones registradas en los meses previos al momento de la imagen (enero de 2016). Asimismo, los valores más bajos se corresponden al año 2018, mes previo al incendio estudiado. Probablemente estos bajos valores podrían corresponderse con aumento de peligro de ignición en la zona, teniendo como respaldo lo ocurrido en el sitio posteriormente, destacando que si no se hubiera combatido el incendio como se realizó, las llamas habrían pasado con seguridad la Ruta Provincial 76, afectando un área mucho mayor (como ocurrió en el evento 2013 - 2014).

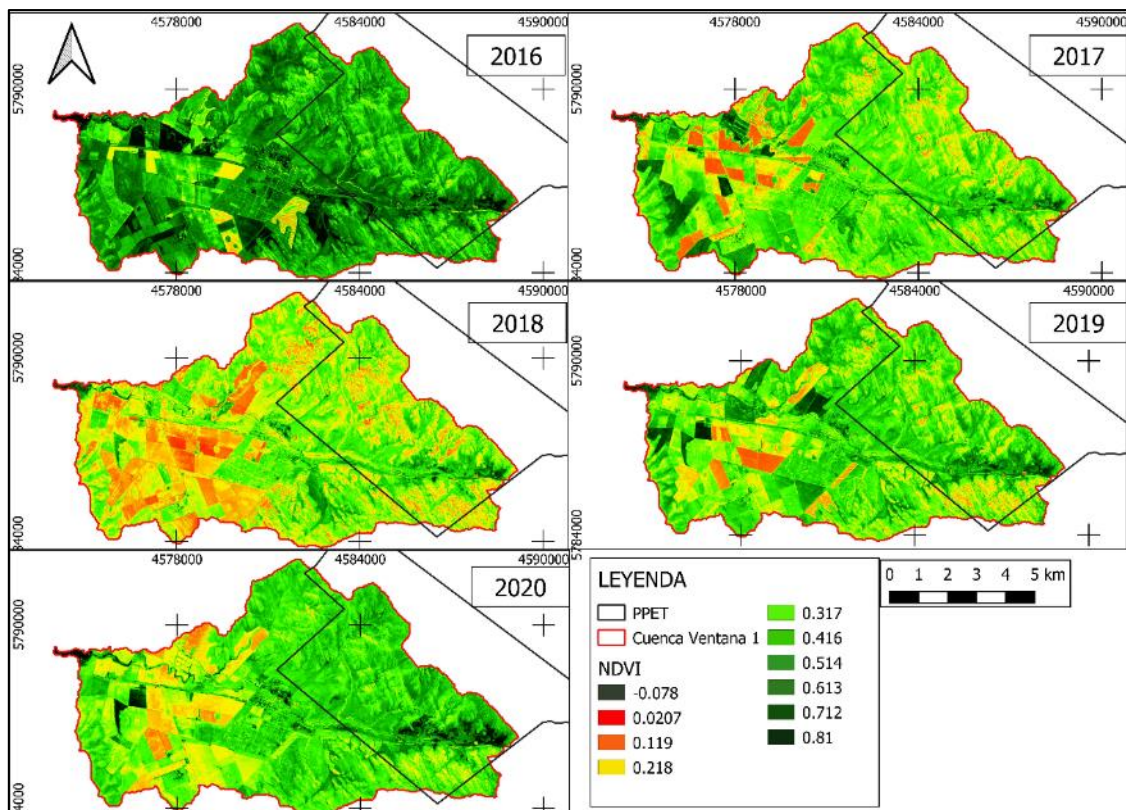


Figura 43. Variación de valores de NDVI para Cuenca del Arroyo Ventana. Período 2016-2020 (enero).

Con el objetivo de demostrar la diferencia de valores entre vegetaciones incendiadas y no incendiadas, se utilizaron valores de imagen posterior al incendio del año 2018. Los resultados obtenidos se grafican en la Figura 44 para pastizales y en la Figura 45 para áreas boscosas. El análisis de estas figuras expresa que en cuanto al NDVI, la cobertura pastizal con roca resulta ser la que más dificultad encuentra en recuperar sus condiciones previas, probablemente por la poca presencia de suelo en superficie sobre el cual pueda regenerarse el pastizal. Por su parte, la cobertura roca ha recuperado valores normales, sin embargo, la vegetación que se pueda encontrar en dichos lugares no representa una elevada cobertura por la elevada presencia porcentual de roca en superficie.

Respecto a los pastizales, aquellos sitios que no se han incendiado, muestran menores valores para el 2018, debido a las condiciones climáticas adversas para producir

biomasa nueva, cuestión que en los años siguientes se observa contrario debido a mejores condiciones para desarrollarse.

Lo más notorio es lo ocurrido con pastizales que han sido incendiados: Para el año 2016 se observan valores de NDVI mayores a los otros años, probablemente relacionado a mejores condiciones climáticas, especialmente precipitaciones (se registraron 1011mm en el período octubre de 2015- marzo de 2016), y una correspondiente caída casi a 0 por el incendio para el año 2018. Para los años precedentes, se observa una gran recuperación de los valores, los cuales se encuentran por encima de aquellos sitios que no han sido afectados por el fuego.

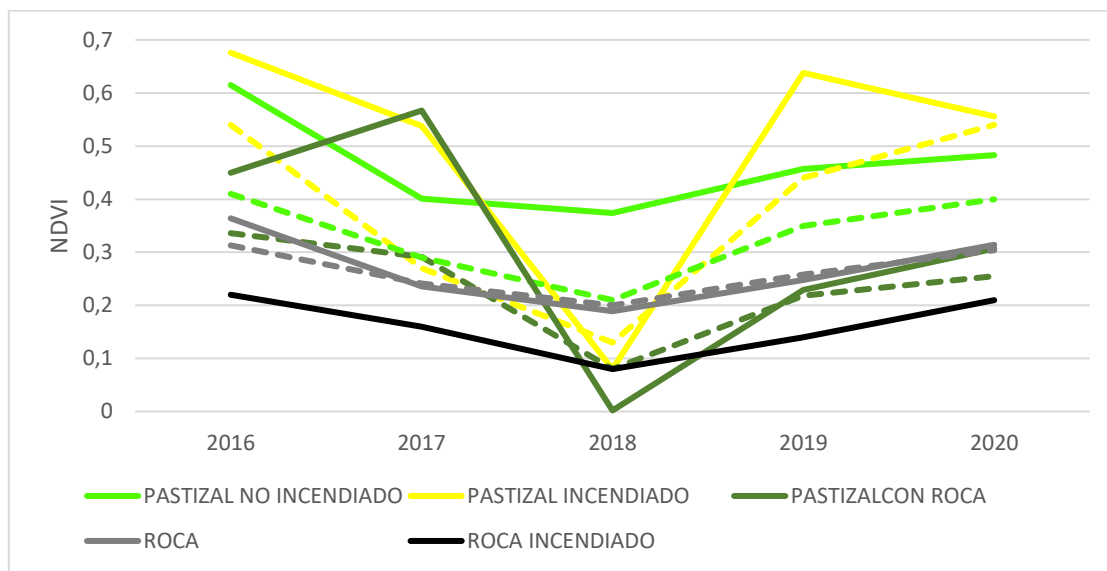


Figura 44. Variación valores de NDVI en pastizales. Líneas de igual color representan igual cobertura en puntos diferentes de control. Período 2016-2020.

Por último, los sitios ocupados por masas boscosas también tienen comportamientos a destacar. En primer lugar, claramente se observa una caída de valores en el año 2018 por el incendio, observado que en los años precedentes se recuperan valores, aunque habría que determinar si en el sitio se ha regenerado el bosque, si se ha establecido pastizal o si los árboles existentes allí han reverdecido, es decir, que el fuego no los haya matado. En segundo lugar, aquellos sitios donde no se han registrado incendios, se observan tanto valores regulares de NDVI con variaciones debido probablemente a razones climáticas, como así también incremento de valores debido al crecimiento de los árboles (Figura 45). Por último, sitios que han sido afectados por el incendio del año 2013 que de a poco han recuperado valores de NDVI por nuevo establecimiento de regeneración en el sitio. Debe tenerse en cuenta que en el año 2016 se destaca por valores mayores de NDVI en todas las coberturas, probablemente por un clima benigno para el buen crecimiento de las plantas.

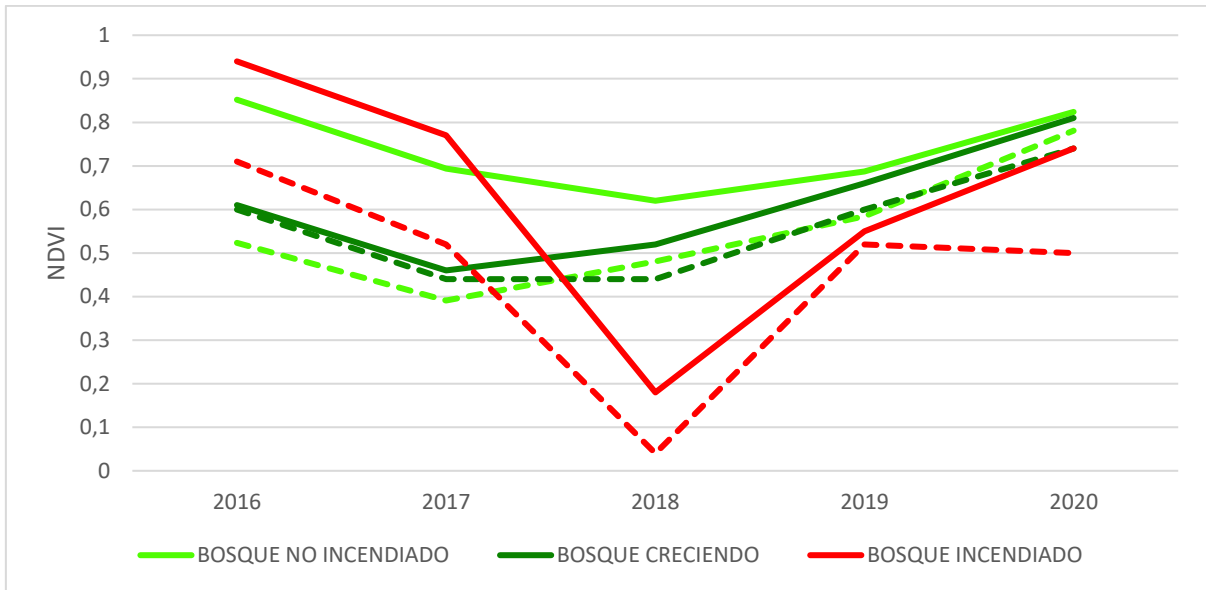


Figura 45. Variación valores de NDVI en bosques. Líneas de igual color representas áreas boscosas que atravesaron igual proceso (incendio, crecimiento, establecido) en puntos diferentes. Período 2016-2020.

3.6. Variación de cobertura forestal

En la Figura 46 se observa la variación de la cobertura forestal (bosque) en 4 momentos diferentes: 2010, 2013 (previo al primer evento estudiado), 2017 (previo al segundo evento estudiado) y 2020 (actual). Se obtuvo, para cada año, las siguientes superficies:

- 2010: 162 ha
- 2013: 170 ha
- 2017: 141 ha
- 2020: 170 ha

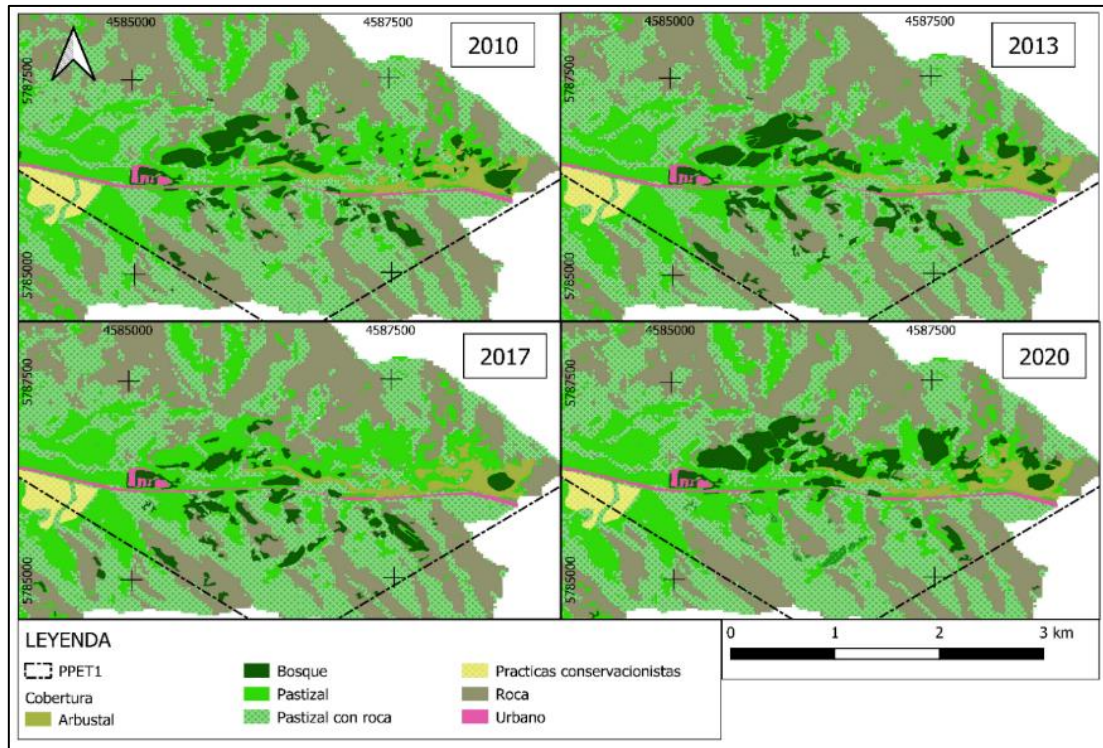


Figura 46. Variación de cobertura forestal

Si bien en el período mencionado no se observa una gran variación de cobertura, habiendo como máximo 30 ha de diferencia entre un período y otro, en la Figura 46 se puede observar cómo esta cobertura sí varía espacialmente, debido a los eventos ocurridos. Esta variación espacial se corresponde con las áreas incendiadas en cada evento. Asimismo, se observa una gran regeneración entre los años 2013 y 2017, teniendo en cuenta que gran parte de la superficie boscosa del año 2013 resultó incendiada (101 ha). Sin embargo, la disminución de esta superficie fue de 29 ha.

También debe observarse la variación entre los años 2017 y 2020, período en que ocurre el segundo evento estudiado. Se observa claramente la ausencia de vegetación arbórea en el área afectada. De la misma manera, un gran avance sobre áreas no afectadas, las cuales están recuperando sitios incendiados en el evento 2013.

4. CONSIDERACIONES FINALES

Se han estudiado dos eventos que si bien comparten una parte de la superficie que ha sido afectada en ambos incendios, presentan una marcada diferencia de superficies afectadas como así también severidades registradas (siempre basándose en el área de estudio). A priori se observa una mayor superficie afectada por severidades muy altas en el evento 2013-2014, debido en parte a la mayor superficie de bosque afectada (especialmente en la zona de la base del Co. Ventana), como así también, a mayor superficie de pastizales afectados con una severidad alta. Sin embargo, si se comparan superficies que han sido afectadas en ambos eventos, no se observan en las Figuras 33 y 39 diferencias notorias de severidades, respetándose éstas de acuerdo con la vegetación preexistente, correspondiendo mayores severidades a pastizales, cultivos y bosque y menores a pastizales con roca o roca en superficie.

En cuanto a superficie boscosa, a grandes rasgos puede afirmarse que en estos casos los incendios han resultado ser controladores de la superficie en el sentido que la superficie total no varió en gran medida. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el fuego es un factor importante para la germinación y posterior establecimiento de los pinos, lo cual puede generar que dicha especie pueda ocupar nuevas superficies más rápidamente. Sería importante estudiar el comportamiento de esta especie a futuro, mientras no se registren nuevos incendios.

Los valores de NDVI registrados para cada evento, se corresponden con lo mencionado por Jiménez-Ruano (2016), donde afirma que después de un incendio, los ecosistemas adaptados al fuego producen una intensa profusión de los mecanismos de rebrotación y germinación de las especies preexistentes, que en gran medida determinan el ritmo e intensidad del proceso de recuperación ecológica. Esta se define como *“el retorno de una población biológica o comunidad con algún aspecto de su condición inicial después de introducir un factor de estrés o perturbación”* (Fernández Méndez et al., 2016).

La respuesta post-fuego de los índices verdes aplicados muestra una importante regeneración de la vegetación a pocos meses de extinguido el incendio. Sin embargo, estudios más detallados aseguran que las consecuencias sobre la biodiversidad son negativas y se manifiestan con el tiempo, dado que las especies exóticas avanzan sobre el ecosistema natural, produciendo modificaciones en la dinámica de los ecosistemas y modificando la frecuencia e intensidad de los incendios (Michalijos, 2018). A esta problemática debe sumarse la percepción de la población, que considera que el ecosistema serrano se recupera rápidamente dado que la vegetación se regenera en pocos meses. Según ellos, los que realmente están afectados son los propietarios de emprendimientos turísticos que ven disminuida la afluencia de turistas en el período de recuperación de la vegetación (La Nueva, 2008). Sin embargo, en el presente trabajo, no se puede aseverar si esta vegetación corresponde a especies autóctonas o permitió la proliferación de especies exóticas, trayendo aparejado consecuencias en la biodiversidad, requiriendo para esto una validación a campo.

Con lo mencionado anteriormente, debe tenerse en cuenta los múltiples factores que afectan y juegan en el funcionamiento y dinámica de la Cuenca, considerando a los incendios como procesos naturales del sitio pero que han modificado su dinámica por la introducción de otras especies al sitio. Resulta un desafío balancear entre los servicios ecosistémicos de protección de Cuencas que generan los árboles, pero que a la larga pueden traer efectos de muy difícil reversión en el ecosistema natural.

CAPÍTULO III

DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL

1. INTRODUCCIÓN

La erosión en sentido estricto es el desgaste de la superficie terrestre por la acción de agentes externos como el agua o el viento. La erosión hídrica consiste en el proceso de disgregación y transporte de las partículas de suelo por la acción del agua. Se establece cuando las gotas de lluvia caen sobre un suelo y tienen la suficiente energía para remover sus partículas, siendo estas liberadas y transportadas por el escurrimiento superficial hacia las corrientes de drenaje. El ciclo completo culmina con el depósito de los materiales transportados por la corriente en áreas de sedimentación, cuando la capacidad de arrastre de las aguas se reduce hasta el punto de no permitir el flujo de las partículas de sedimentos previamente incorporadas al mismo.

La cuantificación del escurrimiento superficial es importante en los procesos de erosión hídrica superficial de los suelos, la cual genera fragilidad en los sistemas ambientales. La degradación del suelo por erosión es un proceso inducido por el hombre que disminuye la capacidad actual y futura de este recurso para sostener la vida humana (Gaspari, 2016).

El estudio de la potencialidad erosiva adquiere especial importancia en el diagnóstico en cuencas hidrográficas, debido a las notables pérdidas de suelo que producen las prácticas culturales agrícola-ganaderas y la vulnerabilidad que presentan los ecosistemas naturales.

El objetivo de este capítulo es realizar una cuantificación de las pérdidas anuales de suelo actual para el área de estudio, e incorporar la vulnerabilidad de los suelos debido a incendios. Estos se ven afectados principalmente en sus propiedades físicas, como la repelencia y la estabilidad de los agregados, aumentando su erosionabilidad de acuerdo con la severidad del incendio (lo cual está determinado especialmente por la cobertura existente y la cantidad de combustible presente al momento del incendio). Resulta un desafío la cuantificación de las pérdidas de suelo por erosión hídrica después de un incendio, dependiendo esta de la ocurrencia de precipitaciones los primeros meses luego del evento (“ventana de alteración” (Prosser & Williams, 1998)) y sus respectivas intensidades y duraciones.

Los procesos de degradación del suelo, señalados anteriormente, inducen una modificación importante de sus propiedades hidrológicas y consecuentemente una alteración de los flujos de agua en las zonas quemadas, viéndose principalmente favorecidos los flujos superficiales de agua. De este modo, es frecuente que las zonas quemadas presenten tasas de erosión significativamente superiores a las zonas no quemadas, debido principalmente al mayor volumen y velocidad de los flujos superficiales de agua. Además del incremento del volumen de escorrentía, como consecuencia de la alteración de las propiedades del suelo, en las zonas quemadas se genera un volumen importante de suelo desagregado susceptible de ser movilizado y

arrastrado pendiente abajo, graficado en la Figura 47 (Benito et al., 2009). En la cuenca del A° Ventana han sucedido eventos torrenciales, como el registrado en 2018, que demuestran la vulnerabilidad del área de estudio luego de los incendios.

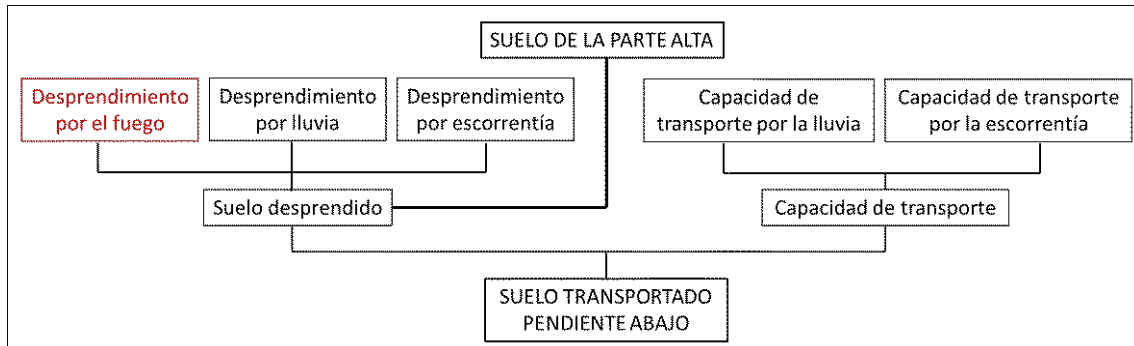


Figura 47. Esquema del proceso de erosión del suelo de Meyer y Wischmeier (1969) modificado mediante la inclusión de desprendimiento del suelo provocado por los incendios. Fuente: Benito et al. (2009).

El modelo Universal Soil Loss Equation (USLE) o Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, es un modelo paramétrico creado para estimar la pérdida promedio anual de suelo en tierras agrícolas. Fue formulado por Wischmeier y Smith, en el año 1965. Es un modelo matemático empírico, que utiliza información sobre precipitación, suelo, pendiente del terreno, y de uso y manejo del suelo y combina la información proveniente de la investigación relacionada con la erosión hídrica, para proporcionar datos de diseño en los planes de conservación (Wischmeier & Smith, 1978). Este modelo es una función de la erosividad de las precipitaciones, de la erodabilidad del suelo, y de las consecuencias antrópicas de uso. Permite determinar las tasas de erosión para diferentes sistemas de uso y manejo de suelos. Al comparar estas tasas con la tolerancia, se pueden seleccionar las combinaciones de cultivo y manejo apropiadas para el control adecuado de la erosión.

1.1. Efectos en erodabilidad del suelo

En cualquier caso, en modelos como la USLE, la liberación de partículas de suelo durante el incendio podría ser incluido dentro del factor de erodabilidad del suelo. Básicamente las propiedades modificadas serían el contenido de materia orgánica, la estabilidad estructural y la permeabilidad. Benito et al. (2009) concluye que la magnitud de los cambios ocasionados por los incendios forestales en las propiedades físicas de los suelos va a depender fundamentalmente de la severidad de los incendios y opera fundamentalmente a través de sus efectos en la materia orgánica del suelo. Sin embargo, la dificultad reside en que pequeños descensos del contenido de materia orgánica suelen generar importantes incrementos de la tasa de erosión pues están asociados a una tasa importante de desagregación del suelo y una pérdida de la calidad cementante de la materia orgánica remanente (Benito et al., 2009). En los fuegos de baja/moderada severidad, es posible encontrar un aumento en el contenido de materia orgánica debido a la incorporación al suelo de vegetación quemada o acumulación de materiales carbonizados después del fuego (Andreau et al., 1996). Esto se puede ejemplificar en ciertos sitios boscosos del área de estudio, donde se desarrollaron incendios que no llegaron a afectar enteramente las copas de los árboles, pero sí producir su muerte, desencadenando la caída de hojarasca al suelo incendiado,

pudiendo considerarse dicho proceso como incorporación de una cobertura que pueda contrarrestar el efecto de la caída de lluvia como así también a mediano plazo formación de nueva materia orgánica.

Benito et al. (2009) demostró que el incremento de la erosión frente a la parcela no quemada fue de 22 veces, mientras que las quemadas prescritas - quema de baja intensidad- el incremento frente a las parcelas control fue de 2,5 veces. Por tanto, aunque en ambos casos la cubierta vegetal tras el incendio fue totalmente quemada, los valores de erosión registrados difieren sustancialmente entre la quema prescrita y la quema accidental. Lo mencionado anteriormente podría inferir para el área de estudio diferentes incrementos de erosionabilidad de acuerdo con coberturas afectadas y severidades zonificadas previamente.

También es importante señalar la fuerte repelencia al agua superficial que manifiestan los suelos tras fuegos poco intensos, lo cual se traduce en una fuerte reducción de la infiltración del agua en el suelo. La menor infiltración del agua, junto con la reducción de la protección del suelo por la cubierta vegetal, constituyen el principal impacto negativo de los incendios de baja a moderada intensidad en la degradación física de los suelos ya que suponen unas condiciones más favorables para la formación de flujos de escorrentía superficial y una aceleración de los procesos erosivos en las zonas quemadas. En aquellos incendios de mayor severidad, en donde se produce la combustión de la materia orgánica del suelo, la degradación física de los suelos se manifestaría de manera mucho más drástica (Benito et al., 1989), favorece una fuerte desagregación del suelo y una pérdida de estabilidad al agua de los agregados. La repelencia al agua, aunque disminuye en la superficie del suelo, se mantiene muy severa en la capa subsuperficial, proporcionando condiciones muy favorables para el desarrollo de flujos de escorrentía subsuperficial y del consiguiente arrastre de suelo.

En un estudio, Rodríguez-Alleres (2005) concluyó que el fuerte calentamiento de la superficie del suelo por el paso del fuego favoreció la reducción o desaparición de la repelencia al agua en los 2 primeros centímetros del suelo, pero indujo, sin embargo, una repelencia extrema entre 2 y 20 centímetros de profundidad. Esta fuerte repelencia contribuyó a reducir la velocidad de infiltración del agua en el área quemada obteniéndose, mediante las experiencias con simulación de lluvia, coeficientes de escorrentía en torno al 50 %. A esta escala de trabajo la repelencia al agua parece tener un mayor impacto sobre la generación de escorrentía. Además, debe tenerse en cuenta que, en sitios incendiados correspondientes a suelos bajo pinos, la repelencia aumenta por la presencia de sustancias en superficie como resinas, gomas y aceites (Rodríguez-Alleres et al., 2012).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Metodología USLE

Con el objetivo de cuantificar las pérdidas anuales de suelo para el área de estudio se aplicó el modelo USLE, el cual se presenta mediante la Ecuación 5. La Figura 48 grafica sintéticamente el cálculo que plantea el modelo.

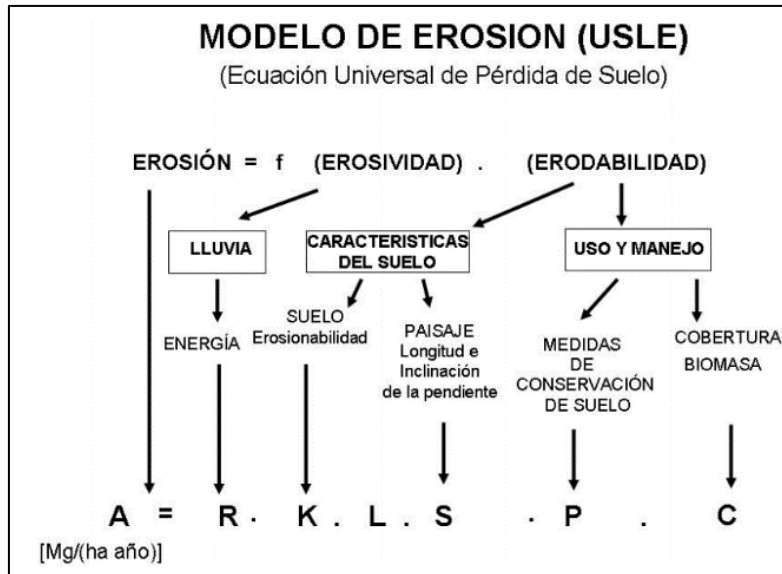


Figura 48. Modelo de Erosión USLE. Fuente: Gaspari et al. (2013).

$$A = R * K * L * S * C * P \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- **A:** es la pérdida de suelos calculada por unidad de superficie, expresada en las unidades seleccionadas para K y el período seleccionado para R, generalmente toneladas por hectárea por año ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$).
- **R:** es el factor índice de erosión pluvial ($\text{J cm m}^{-2} \text{h}^{-1}$), representa los factores de lluvia y escurrimiento; corresponde a un número de unidades del índice de erosión pluvial (EI), por año o en un período de tiempo considerado.
- **K:** es el factor susceptibilidad del suelo frente a la erosión ($\text{Mg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{J}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$), representa la susceptibilidad del suelo y reconoce que sus propiedades físicas están estrechamente relacionadas a las tasas de erosión. Cuantifica el carácter cohesivo de un tipo de suelo y su resistencia a desprenderse y ser transportado debido al impacto de las gotas de lluvia y al flujo superficial de agua.

La aplicación del factor K de la USLE para estimar la erosionabilidad en suelos quemados tiene importantes limitaciones derivadas del carácter empírico del modelo y del hecho que no se puedan considerar en su totalidad los importantes efectos que el fuego ocasiona en las propiedades del suelo relacionadas con su erosionabilidad. Sin embargo, se puede utilizar esta metodología para disponer de una primera aproximación de la susceptibilidad a la erosión de los suelos tras el fuego (Benito et al., 2010).

Las modificaciones del factor K tras un incendio forestal afectarían tanto a los componentes como a las propiedades del suelo que intervienen en su cálculo por lo que sería necesario determinar esos factores sobre el suelo quemado para su posterior evaluación. De todas formas y como un planteamiento tentativo, Díaz-Fierros et al., (1994) mostraron las variaciones que, de acuerdo con la bibliografía, podrían esperarse tras fuegos de tres intensidades diferentes (Tabla 4). Estos cambios que se produzcan en estas propiedades edáficas, tras un incendio forestal, podrían servir como base para medir la influencia del fuego en la susceptibilidad del suelo a la erosión determinada mediante este factor.

Tabla 4. Variación relativa (1: ligera, 2: moderada, 3: fuerte), en función de la intensidad del incendio, de los factores necesarios para calcular el factor K de la USLE en la capa superficial del suelo modificada de Díaz-Fierros et al. (1994). Fuente: Benito et al. (2010).

Intensidad del fuego	Partículas			
	< 50 µm	M.O	Estructura	Permeabilidad
Bajo	0	-1	+1	-1
Moderado	0	-1	+1	-2
Alto	-2	-3	-1	-2

En síntesis, sin importar la severidad del evento ni la previa hidrofobicidad del suelo, la repelencia es un factor importante para reformular el factor K de la USLE (especialmente el valor de permeabilidad del suelo, el cual se ve disminuido), siendo de todas maneras más importante en eventos de alta severidad. Debe tenerse en cuenta que el efecto del fuego sobre la erosión del suelo depende de las características del episodio de lluvia, tales como su cantidad, duración e intensidad.

- **LS:** es el factor topográfico (adimensional) y establece la influencia del relieve en la erosión hídrica. Está conformado por el factor de largo de la pendiente (L) y el factor de gradiente de la pendiente (S). El factor L es la proporción de pérdida de suelos en el largo de la pendiente específica con respecto a un largo de pendiente estándar (22,13 m). El factor S es la proporción de pérdida de suelos de una superficie con una pendiente específica con respecto a aquella en la pendiente estándar de 9%, con todos los otros factores idénticos.
- **C:** es el factor de cobertura y manejo (adimensional). Corresponde a la proporción de pérdida de suelo en una superficie con cubierta y manejo específico con respecto a una superficie idéntica en barbecho, con labranza continua. Este factor considera la protección que proporciona la vegetación a ras del suelo, y el efecto beneficioso que se produce en la defensa del suelo contra la erosión, cuando el crecimiento de las plantas es lo bastante denso (Figura 49).

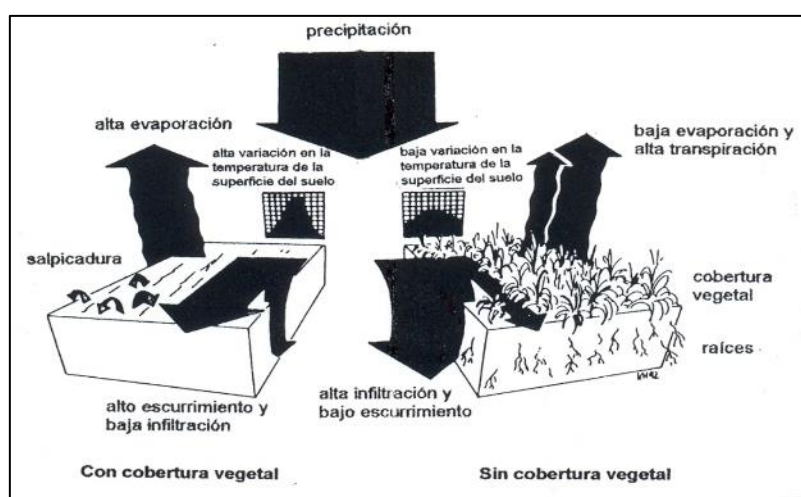


Figura 49. Importancia de la cobertura del suelo. Fuente: Bergsma et al. (1996).

López Falcón (2002) destaca una secuencia de puntos de importancia de la cobertura y se representa en la Figura 50:

- La interceptación disminuye el volumen de la precipitación que llega a la superficie del suelo; y también altera la distribución espacial de la lluvia a través del agua que escurre por los tallos y la que se concentra en ciertos puntos de las plantas que luego produce goteo.
- La interceptación disipa el poder erosivo de la precipitación, sin embargo, cuando la altura de la caída por goteo es suficientemente elevada, y el tamaño de la gota es grande, el poder erosivo del goteo puede superar al de la lluvia original.
- La vegetación rastrera y la hojarasca protegen el suelo contra las fuerzas del salpique y del flujo superficial. También en este sentido, es importante destacar la protección que este tipo de cobertura ejerce sobre la porosidad del suelo superficial, que en consecuencia mantiene la tasa de infiltración.
- La descomposición de la hojarasca y restos vegetales incrementa el contenido de humus en el suelo superficial, creando condiciones óptimas para la permeabilidad al agua e incrementando la estabilidad de agregados.

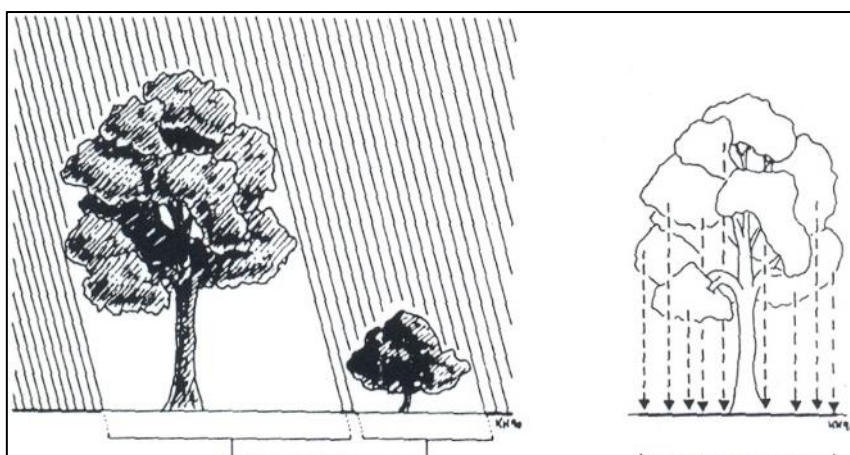


Figura 50. Efectos de la interceptación de la lluvia y goteo ejercidos por la vegetación arbórea.
Fuente: Bergsma et al. (1996).

- **P:** el factor de prácticas de conservación (adimensional), es la proporción de pérdida de suelo con una práctica de apoyo como por ejemplo cultivos en contorno, barreras vivas, cultivos en terrazas, etc., con respecto a cultivos realizados con labranzas en el sentido de la pendiente.

La metodología para cuantificar la pérdida de suelo superficial a nivel de cuenca hidrográfica consiste en el procesamiento espacial de datos vectoriales, ráster y tabulares, aplicando técnicas de procesamiento digital de imágenes satelitales y de cartografía con la utilización del Software de código abierto QGis Madeira 3.4.6. Realizando dicho procedimiento se obtienen mapas de cada uno de los factores que integran la USLE. La misma permitirá la confección de la cartografía final realizando un procesamiento y cálculo de las capas temáticas realizadas para el diagnóstico de la degradación ambiental del área de estudio. A partir de esta base de datos se cuantificará la pérdida de suelo mediante la aplicación del modelo USLE tal como se grafica en la Figura 51, lo cual también permitirá determinar sitios con diferentes grados de erosión.

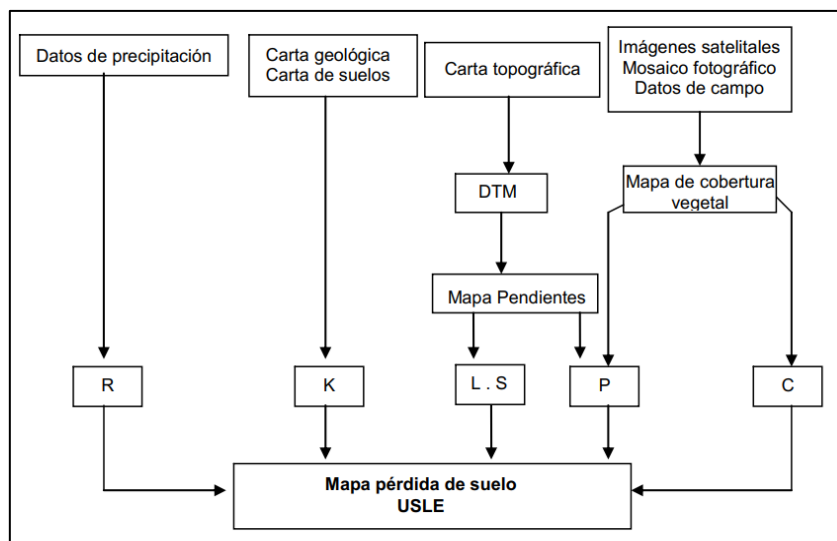


Figura 51. Secuencia de actividades para la determinación de la pérdida de suelo. Fuente: Gaspari et al., (2013).

2.2. Cálculo de factores de USLE

2.2.1. Factor Índice de erosión pluvial (R)

Se realizó un análisis de antecedentes y revisión bibliográfica. Gaspari (2000) desarrolla la metodología de obtención del Factor R, aplicado para la Cuenca del Arroyo Sauce Chico, área que abarca la Cuenca del Arroyo Ventana, por lo tanto, se ha optado por utilizar dicha información en el presente trabajo.

2.2.2. Factor de erodabilidad del suelo (K)

El Factor K se puede determinar a partir de datos provenientes de análisis de suelo, principalmente los referidos a la granulometría y al contenido de materia orgánica, y en función de las características propias de cada suelo. Esta información fue obtenida mediante el sitio web anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/index.htm del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), pudiendo consultar las cartas de las series de suelos presentes en el área de estudio.

Se calcula a partir del porcentaje de las distintas fracciones granulométricas y de materia orgánica, permeabilidad y estructura, siendo sus unidades de medida expresadas en $Mg.m^2.h.ha^{-1}.J^{-1}.cm^{-1}$. Se calcula mediante Ecuación 7.

$$100 K = 10^{-4} \times 2,71 \times M^{1,14} \times (12 - a) + 4,20 \times (b-2) + 3,23 \times (c-3) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

M: (% limo + % arena fina + % arena muy fina) x (100 - % arcilla).

a: Porcentaje de materia orgánica (%). (% Carbono x 1,724).

b: Número de estructura del suelo, codificado de la siguiente manera:

- 1. Gránulo muy fino y grumo muy fino (< 1 mm).
- 2. Gránulo fino y grumo medio (1 - 2 mm).
- 3. Gránulo medio, grumo medio (2 - 5 mm) y gránulo grueso (5 - 10 mm).

- 4. Gránulo liso, prismático columnar y muy grueso (> 10 mm).

c: Clase de permeabilidad del perfil del suelo según USDA-Soil Survey Manual:

- 1. Rápida o muy rápida.
- 2. Moderadamente rápida.
- 3. Moderada.
- 4. Moderadamente lenta.
- 5. Lenta.
- 6. Muy lenta.

Los valores de **M**, **a** y **b** se toman de los 15 a 20 cm superiores del perfil edáfico (López F., 1982; Mintegui Aguirre & López Unzú, 1990).

Para los incendios registrados y zonificados anteriormente, teniendo en cuenta los factores desarrollados previamente, se recalcularon nuevos valores para el Factor K, considerando las severidades, la cobertura y las características de los suelos como los factores determinantes.

De esta manera, los valores se ajustaron para cada tipo de suelo a la Tabla 4, que, de acuerdo con la bibliografía revisada, es lo que mejor se corresponde al área de estudio, integrando características de los suelos, como así también diferentes severidades. Por su parte, los valores de permeabilidad fueron considerados con valores relativos mayores para áreas boscosas por la incorporación de resinas al suelo, factor que aumenta la repelencia al agua, independientemente de la severidad registrada. Los nuevos valores de Factor K solo fueron estimados para los suelos afectados por ambos eventos: series Bonete, Erize, Suelos Hidromórficos alcalinos no diferenciados del Arroyo Cura Malal Grande (SH Cura Malal en adelante) y Afloramientos rocosos.

2.2.3 Factor topográfico (LS)

La zonificación de la pendiente se estableció en base al Modelo Digital del Elevaciones (MDE) a partir de recorte del mismo archivo proveniente del MDE-Ar de la carta topográfica 3963-5 (IGN). Mediante análisis de pendientes, se obtuvo el mapa de pendientes para el área de estudio, en porcentaje (Figura 7). Dichas pendientes fueron reclasificadas según se expresa en la Tabla 5 para la obtención del factor topográfico.

Tabla 5. Valores de LS según rangos de pendiente. Fuente: Mintegui Aguirre (1988).

Pendiente (%)	Factor LS
< 3	0,3
3 - 12	1,5
12 - 18	3,4
18 - 24	5,6
24 -30	8,7
> 30	14,6

2.2.4. Factor de ordenación de cultivos (C)

Se determina experimentalmente para cada clase de cobertura vegetal, respetando las coberturas representadas espacialmente en la Figura 12. A continuación, se presentan

las tablas con valores medios anuales de Factor C (Tablas 6 y 7) (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990) que fueron consideradas para la determinación de C en la cuenca del A° Ventana.

Tabla 6. Factor ordenación de cultivos (C) en la cuenca del Arroyo Ventana con base en Mintegui Aguirre y López Unzú (1990) (Gaspari et al, 2009).

Uso de suelo	Valor de factor C
Pinar	0,001
Pinar incendiado	0,03
Pastizal	0,15
Uso agrícola	0,25
Matorral con buena cobertura	0.08
Roca en superficie	0,042

La Tabla 7 discrimina con mayor detalle las posibles coberturas de suelo, teniendo en cuenta tipo y altura de cubierta, % de recubrimiento, tipo de suelo y porcentaje de cobertura de suelo. Este factor resulta importante para diferenciar tipos de coberturas forestales, matorrales y herbáceas.

Tabla 7. Factor C (Elaborada por Wischmeier (1978) (Valores de Factor C x 10⁻³ para pastizales, matorrales y arbustos). Siendo: **G**: cubierta vegetal en contacto con el suelo, formada por pastizal de al menos 5 cm de humus. **W**: cubierta vegetal en contacto con el suelo compuesta por plantas herbáceas con restos vegetales sin descomponer.

Cubierta vegetal		Cubierta en contacto con el suelo						
Tipo y altura de cubierta	% recubrimiento	Tipo	Porcentaje de cobertura del suelo					
			0	20	40	60	80	95 - 100
Cubierta inapreciable y matorrales (<0,5cm)		G	450	200	100	42	13	3
		W	450	240	150	90	43	11
Plantas herbáceas y matorrales (<0,5cm)	25	G	360	170	90	38	12	3
		W	360	200	130	82	41	11
	50	G	260	130	70	35	12	3
		W	260	160	110	75	39	11
	75	G	170	100	60	31	11	3
		W	170	120	90	67	38	11
Matorral (<0,2cm)	25	G	400	130	90	40	13	3
		W	400	220	140	85	42	11
	50	G	340	160	85	38	12	3
		W	340	190	130	81	41	11
	75	G	280	140	80	36	12	3
		W	280	170	120	77	40	11
Arbolado joven, sin matorral apreciable (<4m)	25	G	420	190	100	41	13	3
		W	420	230	140	87	42	11
	50	G	390	180	90	40	13	3
		W	390	210	140	83	42	11
	75	G	360	170	90	39	12	3
		W	360	200	130	83	41	11

Con los datos de la información obtenida a partir de una clasificación supervisada del área, se procedió a digitalizar los usos del suelo y generar la cartografía actual del factor C, según la clasificación de Mintegui Aguirre & López Unzu (1990).

De acuerdo con las severidades y coberturas afectadas por los incendios se consideraron los nuevos valores de Factor C, aplicable para los primeros meses luego del evento “ventana de alteración” (Prosser & Williams, 1998).

Por último, los valores nuevos estimados (teniendo en cuenta las Tablas 6 y 7) fueron relacionados y comparados con los definidos según Pacheco et al. (2014), quien correlacionó valores de Factor C de USLE con valores de NDVI obteniendo un $r^2 = 0,99$, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Correlación entre NDVI y Factor C de la USLE. (Pacheco et al., 2014)

NDVI	FACTOR C
0	1
0,1	0,9
0,2	0,7
0,3	0,4
0,4	0,2
0,5	0,1
0,6	0,001
0,7	0,0001
0,8	0,00001
0,9	0,000001

2.2.5. Factor prácticas de cultivo (P).

Las prácticas de conservación utilizadas en tierras arables son la labranza en curvas de nivel, las franjas en contorno y los cultivos en terrazas. Por otra parte, los drenajes estabilizados para la eliminación de los excesos de agua son parte necesaria de cada una de estas prácticas. Según las medidas de conservación de suelos que se aplican, los valores de Factor P se asignan utilizando tablas elaboradas por el Soil Conservation Service de Estados Unidos (Tabla 9).

Tabla 9. Factor P. (Mintegui Aguirre y López Unzú 1990).

Pendiente (%)	Cultivo en terrazas			
	Cultivo a nivel	Cultivo en fajas	Terrazas de desagüe	Terrazas de infiltración
2-7	0,5	0,25	0,1	0,05
8-12	0,6	0,3	0,12	0,05
13-18	0,8	0,4	0,16	0,05
19-24	0,9	0,45	0,18	0,06

2.3. Clasificación de Pérdidas de suelo

En el año 1980 FAO, PNUMA y UNESCO presentaron una clasificación de la pérdida de suelo en un trabajo denominado "Clasificación Provisional para la evaluación de la Degradación de los Suelos", confeccionando una tabla con rangos según pérdida de suelo por aplicación de la USLE (Tabla 10) (Mintegui Aguirre & López Unzú, 1990), aplicada en la zonificación de la cuenca del A° Ventana.

Tabla 10. Clasificación en grado de erosión hídrica superficial, según FAO, PNUMA y UNESCO.

Pérdida de suelo (Mg/ha.año)	Grado de erosión
<10	Nulo o leve
10-50	Moderado
50-200	Alto
>200	Muy alto

Esta clasificación define cada rango de la siguiente manera:

- Ausente: cuando no hay presencia de erosión hídrica superficial.
- Leve: Solo se adelgaza el horizonte A o capa arable, observándose casi en su totalidad (menos del 25% del espesor). Aparecen pequeñas áreas desnudas (sin vegetación natural), formación de "patas de vaca" y acumulación de sedimentos en la base de las pendientes o en las depresiones.
- Moderado: Poca formación de surquillos. El horizonte A o capa arable ha sido arrastrado en parte (entre 25% y 75%). Aparece mayor proporción de áreas desnudas y la formación de "patas de vaca". Algunas áreas pueden tener patrones intrincados que varían de manchas pequeñas a sitios erodados, donde el horizonte original A ha sido removido. En algunos lugares se puede encontrar mezcla del horizonte original A con el material del horizonte subyacente.
- Alto: El arrastre del horizonte A o capa arable es severo, casi total (más del 75%). Frecuentemente ocurre formación de surcos y en ocasiones se presentan cárcavas aisladas. En áreas cultivadas el material que se encuentra debajo del horizonte A está expuesto en la superficie.
- Muy alto: Pérdida completa del horizonte A, en forma muy severa. Se presenta formación de cárcavas en una red densa. Los suelos han sido destruidos casi totalmente, excepto en las pequeñas áreas que quedan entre cárcava y cárcava.

La pérdida de suelo superficial tolerable se define como la tasa máxima de erosión permisible para que la fertilidad del suelo pueda mantenerse durante 20 o 25 años (Morgan, 1997). Esta tasa se definió para la cuenca en estudio.

Por último, se calculó la USLE para situaciones de incendios, estimando valores de factor C para sitios afectados por el fuego, categorizados estos según la cobertura afectada y la severidad calculada anteriormente. Se realizaron comparaciones de los valores obtenidos en el año 2020, con los de los eventos estudiados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.2. Cálculo de factores de USLE

3.2.4. Factor Índice de erosión pluvial (R)

El Factor R adquirió un valor anual de 289,65 J cm m⁻² h⁻¹ para el área de estudio (Gaspari, 2000).

3.2.5. Factor de erodabilidad del suelo (K)

Los valores calculados de Factor de erodabilidad de suelo (K) se expresan en la Tabla 11. A continuación se desarrolla discriminado por series de suelos.

Gran parte de la superficie de la Cuenca del Arroyo Ventana corresponde a afloramientos rocosos (47%). Estos suelos no presentan desarrollo pedogenético, observando roca en superficie o roca muy próxima a la superficie. Es por esto que el factor K para USLE podría no tenerse en cuenta (asumiendo indirectamente un valor = 1) como resuelven Berón et al. (2017), o considerar una presencia de suelo en superficie sobre la cual se asienta la vegetación existente (asignando valores = 0,95 Mg.m².h.ha⁻¹.J⁻¹.cm⁻¹) (Gaspari et al., 2009).

Los valores de erodabilidad que se encuadran más bajos (entre 0,32 - 0,35 Mg.m².h.ha⁻¹.J⁻¹.cm⁻¹) corresponden a aquellos suelos de texturas finas debido a la resistencia que ofrecen al desprendimiento de las partículas del suelo (textura franco arcillosa) y aquellos de texturas gruesas por su elevada permeabilidad y resistencia al arrastre, como ser en suelos Haplustol petrocálcico, Argiustol típico y Haplustol típico fino (series Bonete, Cerro del Chimango y SH Cura Malal, respectivamente). El último mencionado se encuentra sobre los planos aluviales del arroyo que circula por la cuenca (Arroyo Ventana y sus colectores), de textura franco arcilloso y permeabilidad lenta.

Valores intermedios de erodabilidad (0,44 Mg.m².h.ha⁻¹.J⁻¹.cm⁻¹) corresponden a texturas franco y franco arcilloso, más predisuestos a la erosión por su granulometría más gruesa. Las variaciones entre similares texturas corresponden al contenido de materia orgánica, correspondiendo mayores valores de materia orgánica a menores valores de erodabilidad, como es en el caso de suelo Argiustol típico, (series Cura Malal y Tornquist).

Los valores de K más altos corresponden a suelos franco limosos (0,6 Mg.m².h.ha⁻¹.J⁻¹.cm⁻¹), debido especialmente a la alta proporción de limo. En este caso se trata de suelo Argiustol ácuico. Por su parte, las series Dufaur y Erize presentan valores de 0,51 Mg.m².h.ha⁻¹.J⁻¹.cm⁻¹. Si bien la serie Dufaur presenta una textura superficial franco arenoso, los valores elevado de limo aumentan su factor de erodabilidad.

Tabla 11. Principales características de las series de suelos y factor K ($\text{Mg.m}^2.\text{h.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}.\text{cm}^{-1}$).

Serie	Textura	Estructura	Permeabilidad	Factor K
Bonete	Franco arcillo arenoso	Granular fina	Moderada	0,32
Co. del Chimango	Franco arenoso	Bloques subangulares medios	Moderada	0,33
SH. Cura Malal	Franco arcilloso	Bloques angulares	Lento	0,35
Tornquist	Franco arcilloso	Bloques angulares	Moderada	0,44
Cura Malal	Franco	Granular fina	Moderada	0,44
Dufaur	Franco arenoso	Bloques subangulares finos	Moderada	0,51
Erize	Franco fino	Bloques subangulares medios	Moderada	0,51
Fuerte argentino	Franco limoso	Bloques angulares	Moderadamente lenta	0,60
Afloramientos rocosos	-	-	-	0,95

Espacialmente, los valores calculados de Factor de erodabilidad de suelo (K) se representan en la Figura 52, respetando las superficies ocupadas por las series de suelos tal como se representó en la Figura 9.

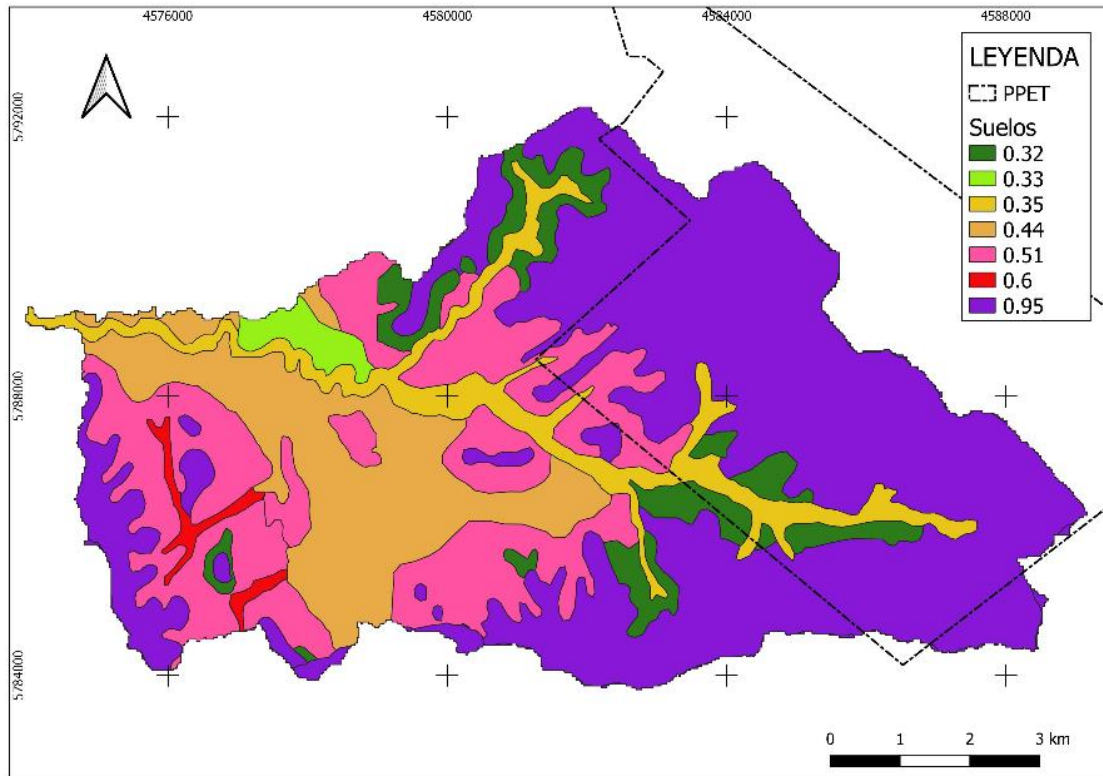


Figura 52. Mapa de Factor de erodabilidad del suelo ($K [\text{Mg.m}^2.\text{h.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}.\text{cm}^{-1}]$) obtenido a partir del mapa edafológico.

En síntesis, aproximadamente un 80% de la Cuenca cuenta con suelos con alta susceptibilidad a la erosión, según la clasificación de Soil and Water Conservation Society (1995), correspondiente a valores mayores a $0,45 \text{ Mg.m}^2.\text{h.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}.\text{cm}^{-1}$.

Por último, en la Tabla 12, se muestran los nuevos valores estimados de Factor de Erodabilidad para los suelos afectados por incendios, de acuerdo con la severidad del evento y su cobertura previa.

Tabla 12. Valores de Factor K [$\text{Mg.m}^2.\text{h.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}.\text{cm}^{-1}$] luego de los incendios, según suelo, cobertura e intensidad del evento.

FACTOR K - INCENDIOS		Severidad		
Suelo	Cobertura	Bajo	Moderado	Alto/ Muy Alto
Roca (0,95)	Arbóreo	1	1	1
	Herbáceo	1	1	1
Erize (0,51)	Arbóreo	0,58	0,62	0,77
	Herbáceo	0,55	0,59	0,74
Bonete (0,32)	Arbóreo	0,37	0,41	0,52
	Herbáceo	0,34	0,37	0,49
SH Cura Malal (0,35)	Arbóreo	0,41	0,44	0,56
	Herbáceo	0,37	0,41	0,53

Gráficamente se puede observar esta variación en la Figura 53 que representa la variación espacial de los valores para cada uno de los eventos de incendios estudiados. Las variaciones se relacionan a los suelos afectados y las severidades calculadas en el Capítulo 2.

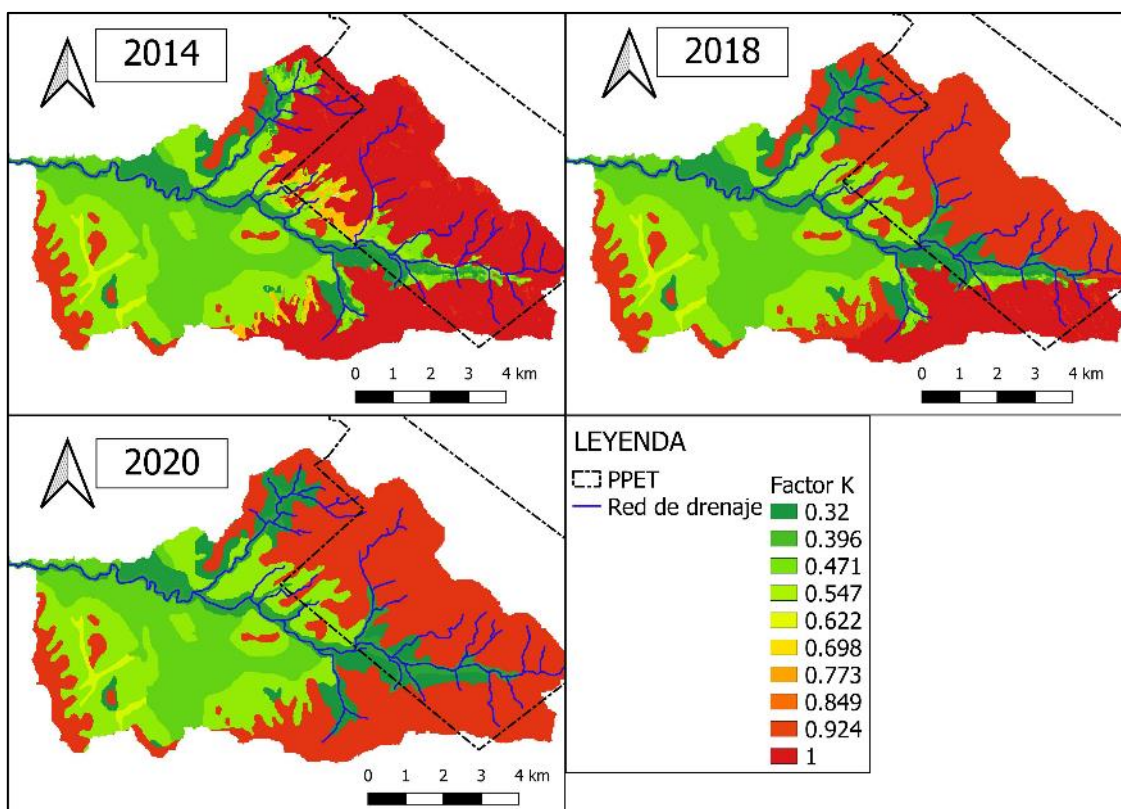


Figura 53. Variación del Factor K [$\text{Mg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$] respecto a los incendios ocurridos.

Los mayores aumentos porcentuales ocurren para severidades alto / muy alto, los cuales ocupan gran parte de las superficies afectadas a afloramientos rocosos, obteniendo valores de $1 \text{ Mg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Es importante destacar que suelos de Series Bonete y SH Cura Malal pasan de una categoría de moderada susceptibilidad a alta susceptibilidad para incendios de severidad alto / muy alto (un aumento de 53% para la Bonete y un 51% para SH Cura Malal). Lo mencionado cobra relevancia para el área de estudio, pudiendo buscar como objetivo, mediante la implementación de medidas de prevención y control de los eventos, que no se alcancen dichas severidades, o quizás disminuir las áreas afectadas con dicha intensidad del fuego.

Por último, incendios forestales causan mayor aumento de erodabilidad en comparación con incendios que afectan vegetación herbácea. En el caso de la Serie Bonete y SH Cura Malal Grande presentan un 10% más de aumento de Factor K, mientras que Erize, un 5%.

3.2.6. Factor topográfico (LS)

A partir de los valores calculados y representados en la Figura 7, la reclasificación de dichos valores arrojó la clasificación para el Factor LS, lo cual se representa en la Figura 54. Se observan dos áreas claramente diferentes:

- una representada por pendientes mayores a 5,6% perteneciente a áreas estrictamente serranas, con abundante roca en superficie;
- otra con valores menores representando sectores de piedemonte, sitios donde se asientan especialmente áreas urbanas y cultivos agrícolas donde se puede

desarrollar esta actividad, ya sea por pendientes que permiten su establecimiento como la profundidad de suelos que permite su arabilidad.

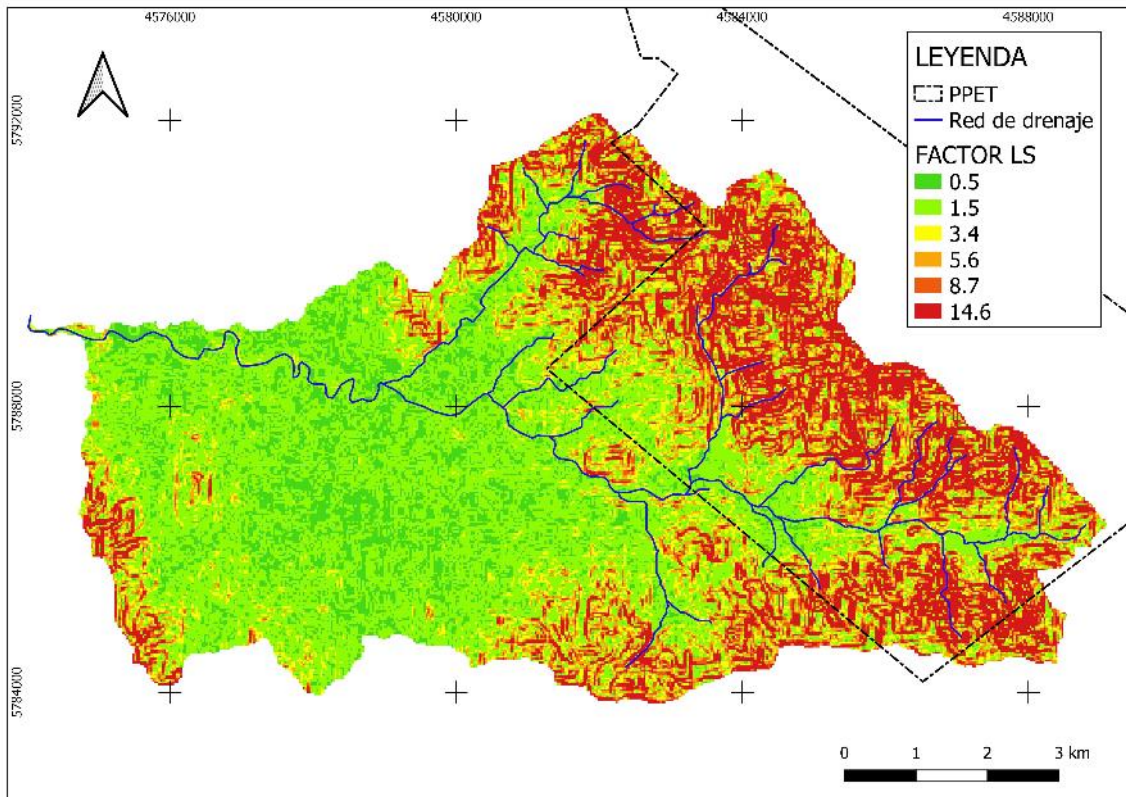


Figura 54. Mapa Factor de longitud y grado de pendiente, obtenido a partir de mapa de topográfico y pendientes (LS).

3.2.7. Factor de ordenación de cultivos (C)

Los valores de Bosque presentan los valores de Factor C más bajos (variando entre 0,0001 y 0,1 respecto a la densidad del bosque) por su densa cobertura, acumulación de agua sobre su copa y cobertura del suelo con hojarasca. Los valores crecientes de Factor C para cobertura arbórea se relacionan con aumento de severidad de los incendios por disminuir la superficie cubierta por árboles como aumentar el consumo por el fuego de las copas y de la cobertura de la hojarasca.

En cuanto al Pastizal con afloramiento rocoso (presente en los lugares de mayores pendientes), su valor de 0,17 se justifica en poseer escasa cobertura vegetal y además presencia de roca superficial, que consecuentemente aumenta la velocidad de escurrimiento, tornándose más relevante al considerar que abarca casi el 28% de la superficie total de la cuenca del Arroyo Ventana.

Por su parte, la cobertura denominada Roca, con valores de 0,3, si bien presenta gran superficie con afloramientos rocosos en superficie, se observa cobertura herbácea en superficie en promedio, respaldado esto por valores de NDVI registrado en este tipo de cobertura. La cobertura roca en superficie ocupa el 18% de la Cuenca, sobre todo en áreas serranas, factor que puede inducir a priori altos valores de pérdida de suelos por erosión hídrica superficial.

Para el Pastizal se considera que corresponde un valor promedio de 0,10. Igualmente estos valores son variables de acuerdo con la época del año y las condiciones climáticas, que aumentan el C en primavera-verano y sin períodos prolongados de sequía.

El siguiente valor le corresponde al uso del suelo cultivo agrícola. Se asigna el valor de 0,25 como promedio debido a la variación anual de la cobertura, observando altos valores luego de la cosecha y previo a la siembra, valores más bajos durante el crecimiento del cultivo y previo a la cosecha. Igualmente, estas variaciones pueden notarse utilizando valores de NDVI variables según el cultivo y la época del año. Tanto para cultivo agrícola como para cultivo agrícola con medidas conservacionistas se asignan iguales valores, debido a que justamente el Factor C considera el tipo de cobertura vegetal, pero no hace referencia a la implementación o no de prácticas sustentables.

Por último, para los restantes usos, como ser arbustal, y urbano, los valores son bajos (0,003 y 0,15 respectivamente), considerando que se trata de baja densidad de ocupación de construcciones, cobertura de pastos anualmente y árboles correspondientes al arbolado urbano.

Los valores estimados para coberturas luego de incendios se expresan en la Tabla 13, correspondidos estos especialmente a valores de NDVI registrados mediante las imágenes satelitales utilizadas en el Capítulo 8. Se utilizó como referencia la Tabla 8.

Tabla 13. Valores de Factor C, sin disturbio y con disturbio de acuerdo a la intensidad del evento y por cobertura afectada.

FACTOR C		Severidad			
Cobertura	Sin disturbio	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
Bosque	0,0001	0,2	0,3	0,7	0,9
Arbustal	0,03	0,05	0,09	0,1	0,5
Pastizal	0,10	0,2	0,75	0,9	1
Pastizal con roca	0,17	0,8	0,9	1	1
Roca	0,3	1	1	1	1
Cultivo Agrícola	0,25	0,3	0,4	1	1

En la Figura 55 se observa el Factor C para el área de estudio y su variación, afectado espacialmente por los incendios registrados. Se muestra claramente como los sitios incendiados aumentan notoriamente sus valores de Factor C (valores entre 0,7 y 1).

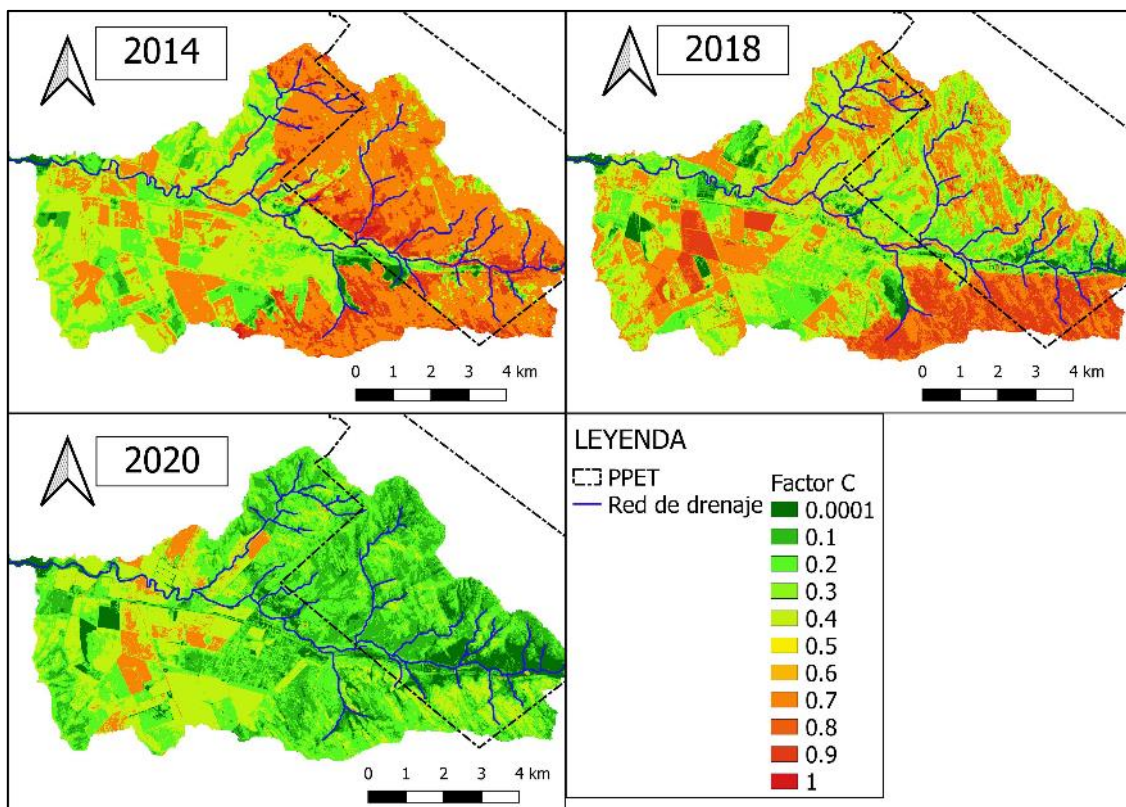


Figura 55. Factor de ordenación de cultivos, a partir del mapa de vegetación, uso del suelo y valores de NDVI (C). Variación de los valores de acuerdo al momento estudiado: incendio de 2014, incendio de 2018, actual 2020.

Por otra parte, se destaca una disminución de valores al norte del Triángulo Sur del PPET, representado por pinares que presentan gran regeneración y arbustales.

Por último, y como se mencionó anteriormente en referencia a la variación de los valores de Factor C para los cultivos agrícolas, esto queda evidenciado en variaciones de dichos valores en los tres momentos referenciados en la Figura 55, oscilando entre 0,1 y 0,7.

3.2.8. Factor de prácticas de cultivo (P)

Los valores de factor P se ajustan únicamente a cultivo agrícolas con prácticas conservacionistas, discriminado estos de acuerdo con la pendiente del terreno, según se clasifica en la Tabla 9, y representado en la Figura 56.

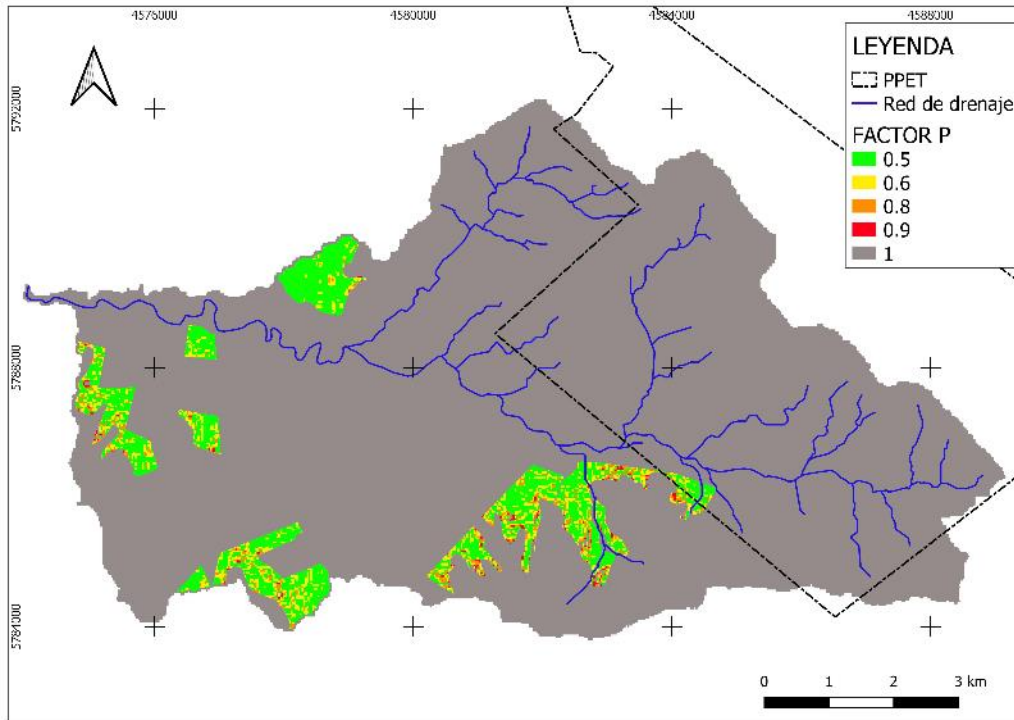


Figura 56. Factor de control de la erosión mediante prácticas de cultivo, resultado del mapa de vegetación y uso del suelo (P).

3.3. Clasificación de Pérdidas de suelo. Año 2020

Los resultados alcanzados de los cálculos de la USLE (Wischmeier & Smith, 1965), permitieron definir valores de pérdida de suelo superficial (A) en Mg/ha.año para la Cuenca en estudio en el año 2020, los cuales se re clasificaron según la Tabla 10 de FAO. Se observan valores excesivos de pérdida de suelo, asociados a las zonas altas, donde las pendientes son pronunciadas, con altos valores de Factor K (roca en superficie), de Factor LS (pendientes muy marcadas) y Factor C (coberturas que no amortiguan el impacto de la lluvia ni protegen suficientemente el suelo), representando el 30% de la Cuenca, como categoría muy alto. (Tabla 14).

Tabla 14. Clasificación en grado de erosión hídrica superficial, según FAO, PNUMA y UNESCO.

Categoría	Área (ha)	Superficie de ocupación (%)	Pérdida de suelo (Mg/ha.año)
Nulo o leve	1052	14	<10
Moderado	2100	28	10-50
Alto	2038	27	50-200
Muy alto	2256	30	>200

Las características texturales y estructurales del suelo fueron fundamentales en la determinación de las áreas críticas, y la presencia de roca en la superficie generó un

efecto erosivo de gran impacto negativo. Los afloramientos rocosos se presentan en gran parte de la cuenca intercalados con pastizal de altura. Este material rocoso presenta una marcada impermeabilidad que aumenta considerablemente el escurrimiento superficial y, consecuentemente, la erosión hídrica. La pendiente tiene una marcada presencia en la región, por lo cual podría considerarse, a priori, que los riesgos de erosión serán elevados por la acción del desnivel. La presencia del mismo denota su influencia en la determinación del Factor LS, en el modelo USLE.

La pérdida de suelo utilizando la ecuación universal de pérdida del suelo se expresó en forma crítica (con valores mayores a 50 Mg/ha año) principalmente donde las pendientes son elevadas y la cobertura vegetal escasa (Figura 57). En lugares donde se observaron zonas con cobertura arbórea en buen estado se establece que esta protección del suelo disminuye las pérdidas de suelo, ya sea en sectores con o sin pendientes abruptas para la región. Esto queda evidenciado al norte del Triangulo Sur del PPET, área correspondiente a la base del Cerro Ventana (Figura 57). Estas áreas representan nula o leve erosión hídrica superficial, sumando a estas, áreas de pastizales con pendientes poco pronunciadas.

Las Áreas con cobertura de cultivos agrícola denotaron variaciones debido al estado del cultivo. Igualmente debe tenerse en cuenta que, al corresponderse a cultivos anuales, toda la superficie ocupada por estos mostrará variación de pérdida de suelo a lo largo del año. Además, se registró una disminución de categorías de pérdida de suelos en sitios con prácticas conservacionistas, ya sea de muy alto a alto y de alto a moderado (Figura 57). Esto mismo evidencia la importancia de dichas prácticas para mitigar el impacto de la erosión hídrica superficial, considerando que solo el 25% de las tierras cultivadas ejercen dichas prácticas. Integra el 55% de la superficie de la Cuenca, clasificado como erosión moderada y alta.

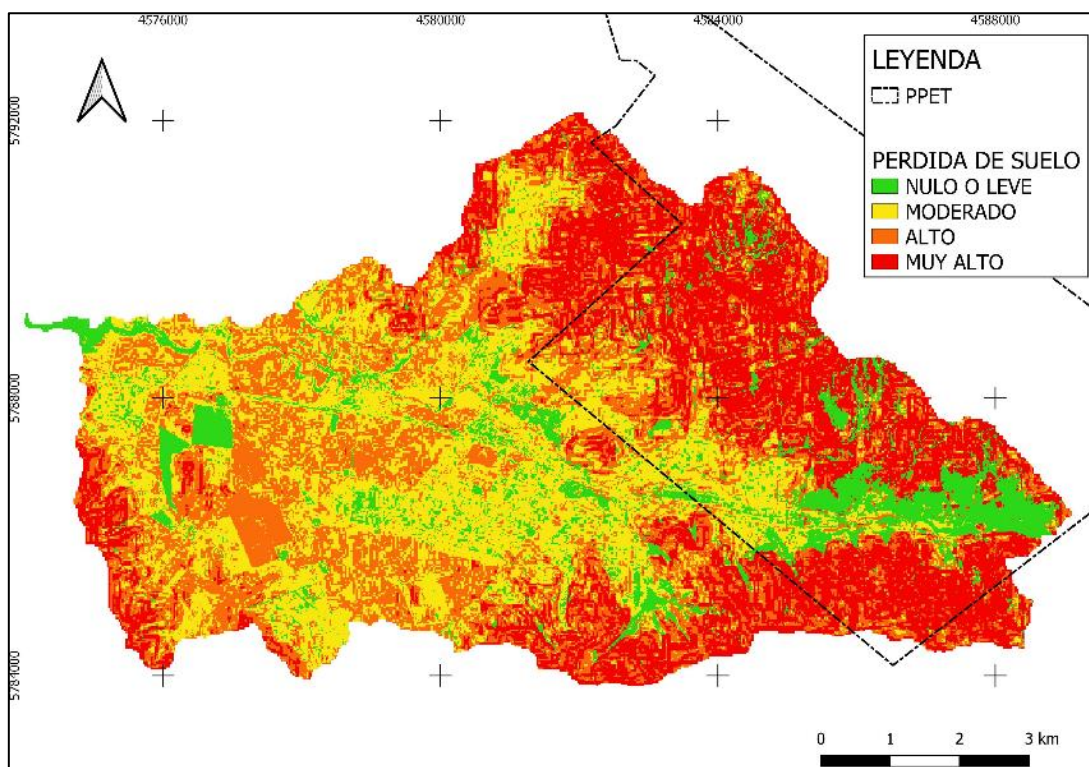


Figura 57. Clasificación de pérdida de suelo para el año 2020 según USLE - FAO.

La Figura 58 deja evidencia la importancia de la cobertura vegetal en la clasificación de los valores de erosión hídrica superficial:

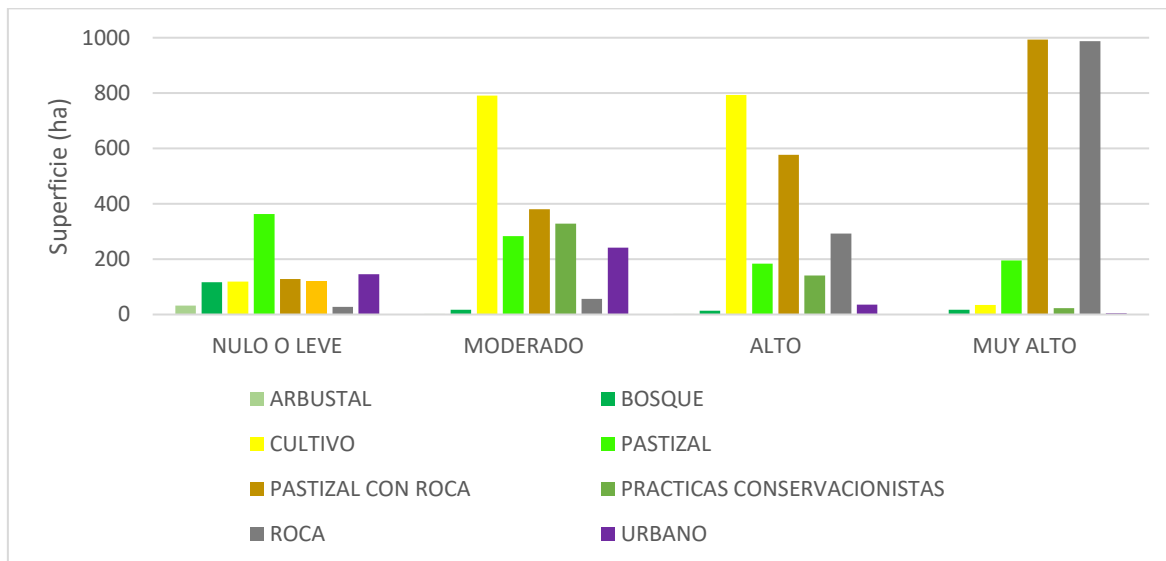


Figura 58. Clasificación de erosión hídrica superficial en Cuenca del Arroyo Ventana según cobertura del suelo.

- Las coberturas roca y pastizal con roca se clasifican casi en su totalidad en las categorías muy alto y alto, considerando también que son las coberturas que representan estas categorías en un 82%. Esto se debe a su escaso recubrimiento del suelo, estando estos muy expuestos a la intensidad de la lluvia. También debe considerarse que se clasifican como pastizales de altura que se ubican sobre pendientes pronunciadas.
- La cobertura arbórea resulta muy importante en el estudio de pérdidas de suelos por erosión hídrica superficial. Ya habiendo mencionado la importancia que tienen estos para la regulación hídrica y protección de suelos, esto se evidencia en los resultados obtenidos. Si bien solo representa el 2,2% de la superficie total de la Cuenca (170 ha), el 71% de esta superficie presenta erosión hídrica superficial nula o leve, siendo el restante explicado por las elevadas pendientes sobre las cual se asientan los árboles. Teniendo en cuenta la poca superficie que ocupa, resulta importante mencionar que representa el 13% de la superficie que presenta pérdidas de suelo leves o nula.
- Resultan interesantes los datos obtenidos en cuanto a los cultivos agrícolas. Se ubican especialmente en las categorías moderado y alto, representando el 38 y 39% de las mencionadas anteriormente. A diferencia de los pastizales, los cultivos presentan estos valores debido a su variabilidad anual de cobertura de suelo. Es importante destacar la importancia de las prácticas conservacionistas que se desarrollen sobre estos, las cuales disminuyen a la mitad los valores de erosión. De esta manera, si no fuera por su aplicación, los cultivos agrícolas representarían a las categorías moderado y alto en un 48 y 50% respectivamente, y para la categoría alto, en lugar de representar el 2%, pasaría al 8%. De las 612 ha que presentan dichas prácticas, 120 ha presentan erosión nula o leve, 328 ha moderada, 141 alta y 23 muy alta.
- La cobertura pastizal se encuentra distribuida en las cuatro categorías, presentando el 35% una erosión nula o leve. Es la cobertura que más representa a dicha categoría (34%), debido a su alto recubrimiento, siendo este constante,

excepto cuando se registran incendios o sobrepastoreos. La presencia de altos valores de pérdida de suelos se debe especialmente a pendientes pronunciadas y suelos muy erodables, como las series Dufaur, Erize, Fuerte Argentino o sobre Afloramientos Rocosos.

3.3.4. Clasificación de Pérdidas de suelo. Incendios 2013-2014 y 2018

De los cálculos de la USLE (Wischmeier & Smith, 1965), se obtuvieron valores de caudal sólido (A) en Mg/ha.año para la cuenca en estudio en los momentos posteriores a los incendios previamente estudiados y se clasificaron según la Tabla 14. Con el objetivo de realizar una comparación, los valores obtenidos fueron comparados tanto con la situación actual desarrollada previamente (actual 2020, Figura 59) como con los momentos previos y posteriores a los eventos (Figuras 61 y 63).

Observando la Figura 59 se puede identificar un aumento notorio de la pérdida de suelo en las categorías alto y muy alto para los años en que se registraron incendios.

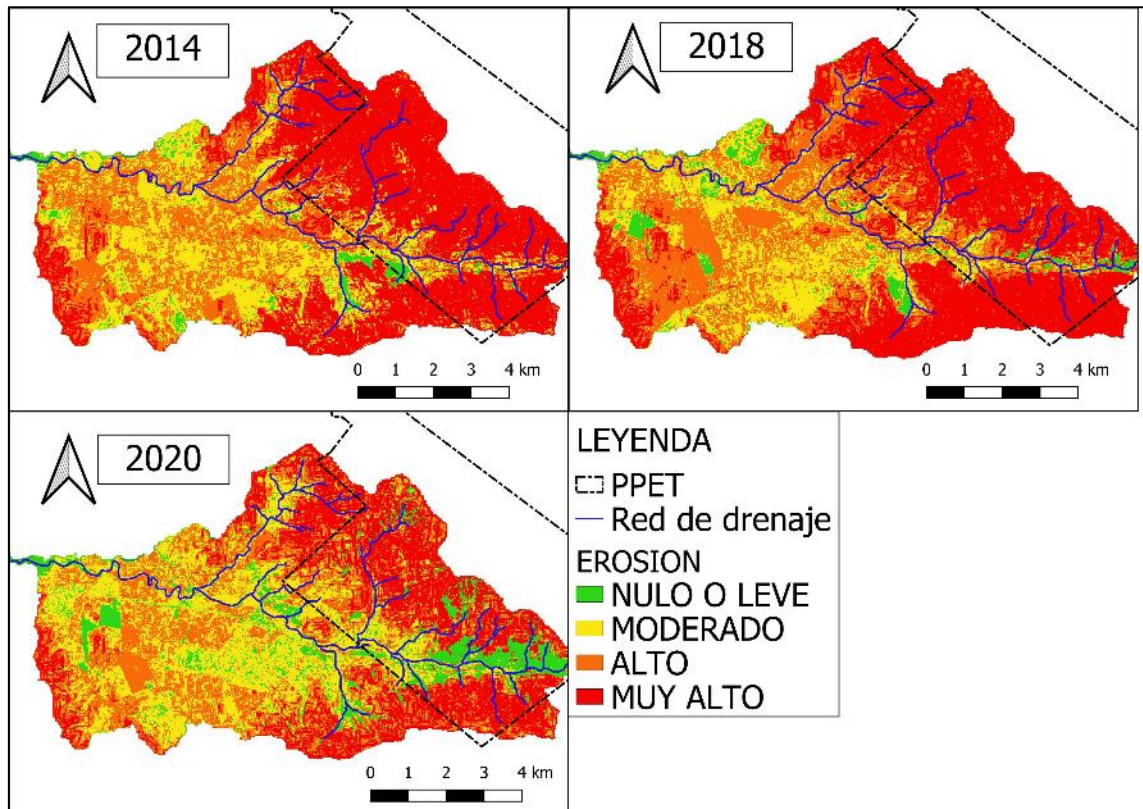


Figura 59. Variación de pérdida de suelo para los tres momentos estudiados: incendio de 2014, incendio de 2018, actual 2020. Calculado mediante USLE.

Para profundizar el análisis, se refiere la Figura 60, donde se observan mayores valores de pérdida de suelos por erosión hídrica superficial en los años donde se registraron incendios, habiendo variaciones de 10% para categoría nula, 5 a 10% para moderado y de hasta 15% para muy alto. Los incendios vulneran la cobertura de pastizales y arbórea que regulan la erosión hídrica, bajo las cuales se destaca la categoría leve o nula. Incendios de alta severidad resultan desencadenantes de incrementos notorios de erosión hídrica superficial. Se destaca una mejoría de la categoría leve o nula en el año 2020, debido probablemente a regeneración de especies arbóreas y arbustivas.

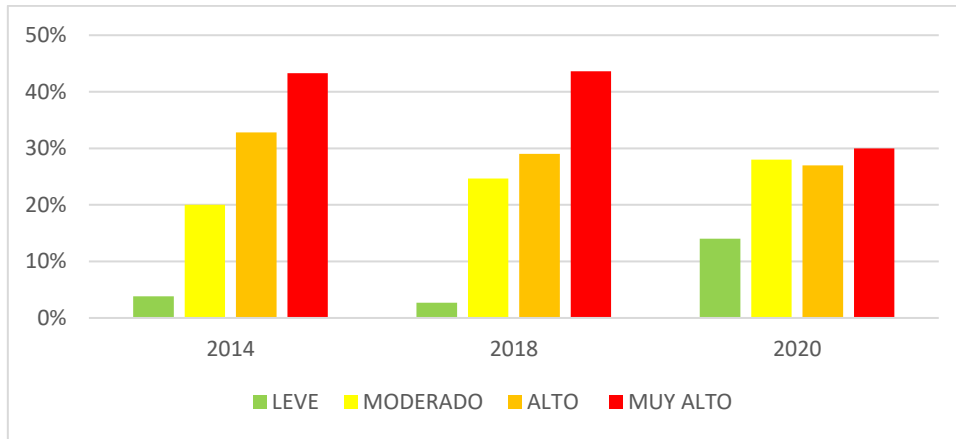


Figura 60. Variación de la representación porcentual de pérdida de suelo según años 2014, 2018 (con eventos de incendios) y 2020 (actual).

Respecto al evento 2013-2014, en la Figura 61 se representan los tres momentos estudiados, en iguales fechas que en el capítulo previo. Especialmente no se visualizan grandes cambios entre los dos primeros momentos. Igualmente, debe considerarse una mayor superficie de categoría muy alto y zonas clasificadas con nulo o leve en el PPET que pasaron a muy alto, correspondiente a áreas boscosas en su mayoría.

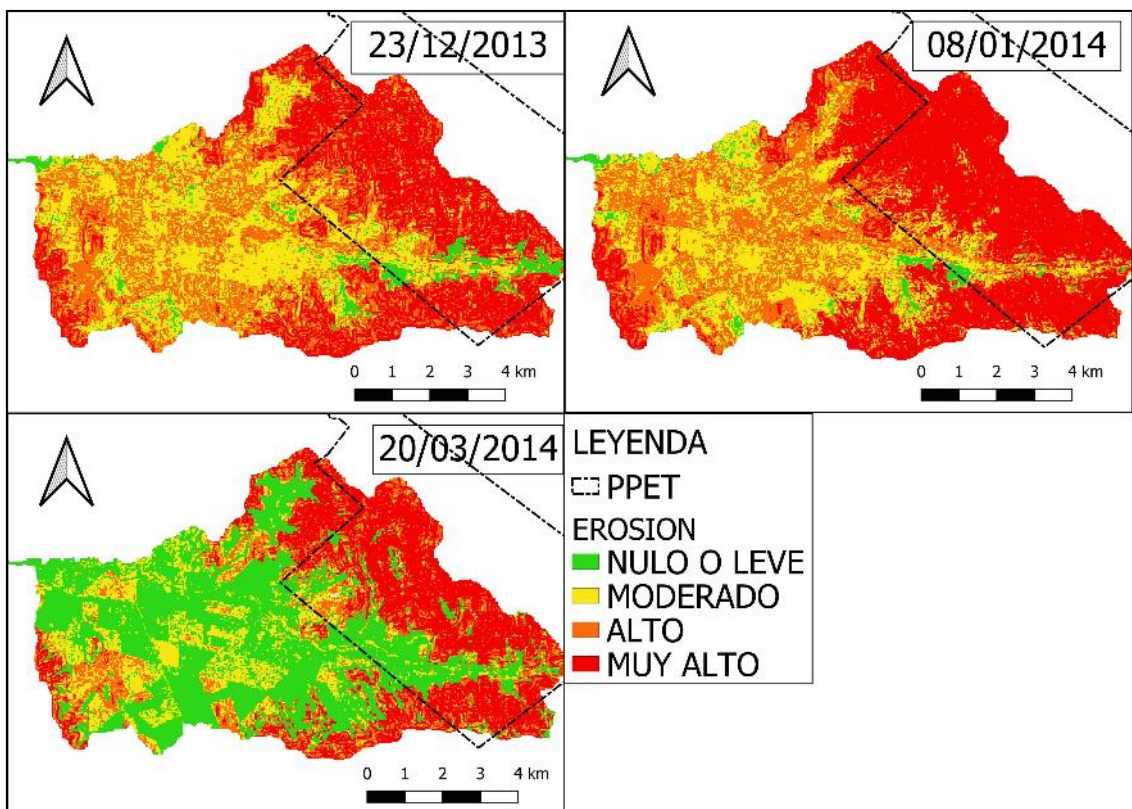


Figura 61. Variación de categorías de pérdida de suelo para tres momentos del evento 2013-2014: previo al incendio, posterior al incendio y tres meses luego de extinto el incendio. Calculado mediante USLE.

En el gráfico siguiente se representa una disminución de la categoría nulo o leve debido a la superficie arbórea afectada (Figura 62, M2), y un repunte notorio en el M3 debido al momento previo de cosechas en cultivos agrícolas (Figura 62, M3). Por su parte, se destaca un aumento importante de la categoría muy alto con el incendio, si bien ya se registraban altos valores previo al evento, lo cual muestra que las condiciones climáticas previas al incendio no favorecieron el crecimiento de pastizales.

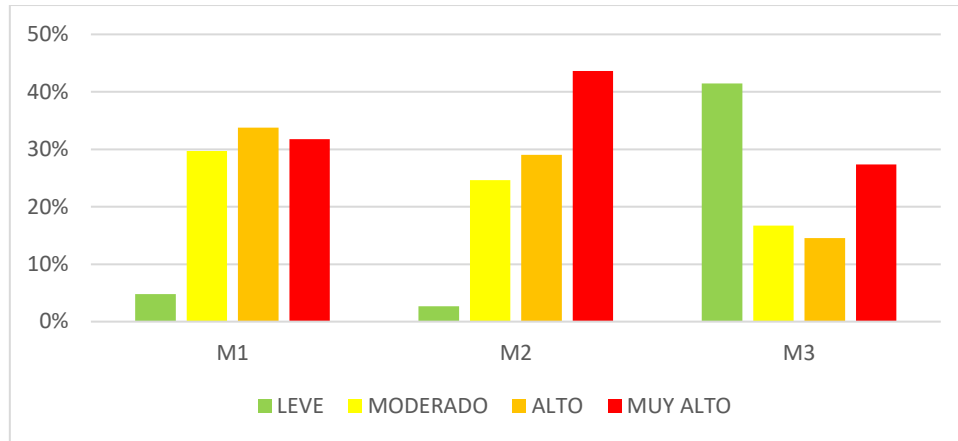


Figura 62. Representación porcentual de categorías de pérdida de suelo para tres momentos estudiados. Donde: M1: previo a incendio; M2: posterior al evento; M3: tres meses luego de extinto el incendio. Evento 2013-2014.

Para el evento del año 2018 (Figura 63), el 95% del área quemada en Cuenca se clasifica como muy alto para la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial, comparado con el 70% que se registraba previo al evento. La recuperación de valores clasificados como moderado se debe a cultivos y pastizales que han mejorado su cobertura (800 ha), al igual que valores de nulo o leve (600 ha). Por su parte, 100 ha presentan dicho valor por recuperación de pastizales que no presentan pronunciadas pendientes.

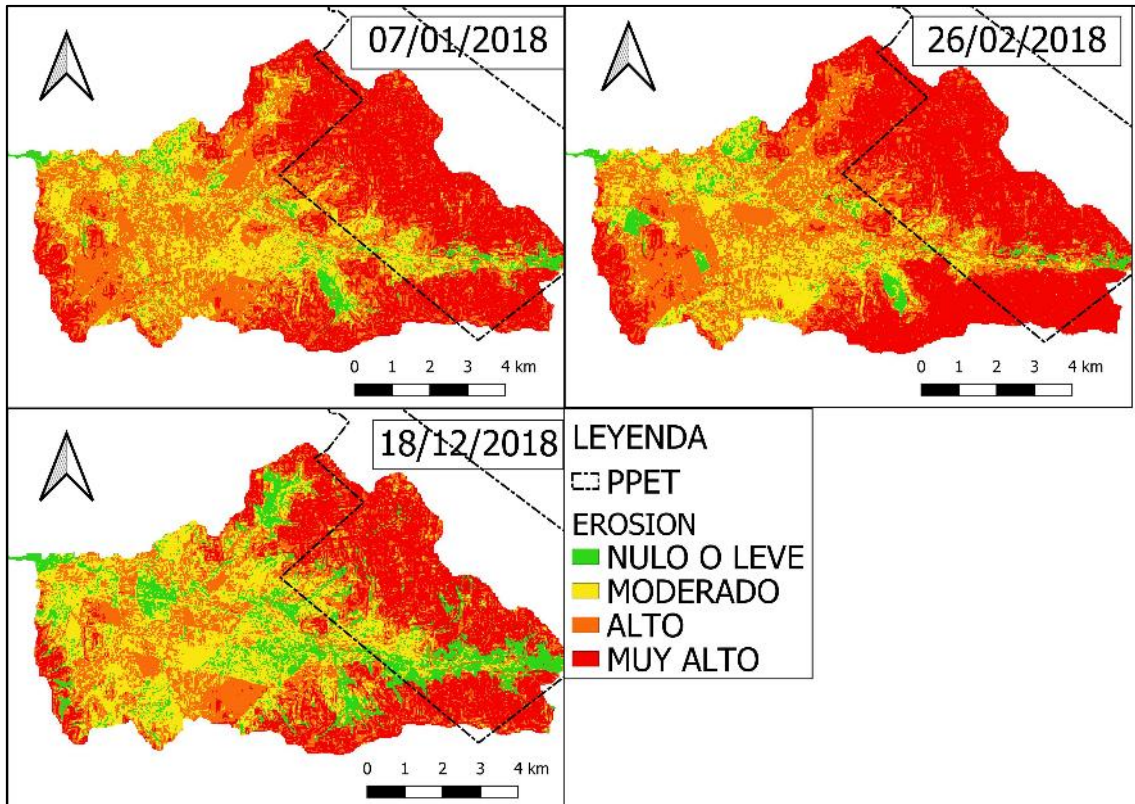


Figura 63. Variación de categorías de pérdida de suelo para tres momentos del evento 2018: previo al incendio, posterior al incendio y primavera siguiente. Calculado mediante USLE.

Lo valores nulo o leve que se mantienen en los tres momentos se deben a cobertura arbórea que no fue afectada por incendios, o estos lo hicieron de manera leve (Figura 64). Asimismo, se registra un incremento porcentual de la categoría nula o leve en el M3 por el momento del año, siendo este en primavera, con mayor oferta forrajera y vigorosidad de las plantas, las cuales además presentan un marcado reverdecimiento luego del evento estudiado. Es importante mencionar que aproximadamente 500 ha afectadas por incendios recuperaron su valor de moderado luego del evento. En estos ejemplos es difícil visualizar una variación de los valores debido a incendios, lo cual implica realizar una comparación cuantitativa.

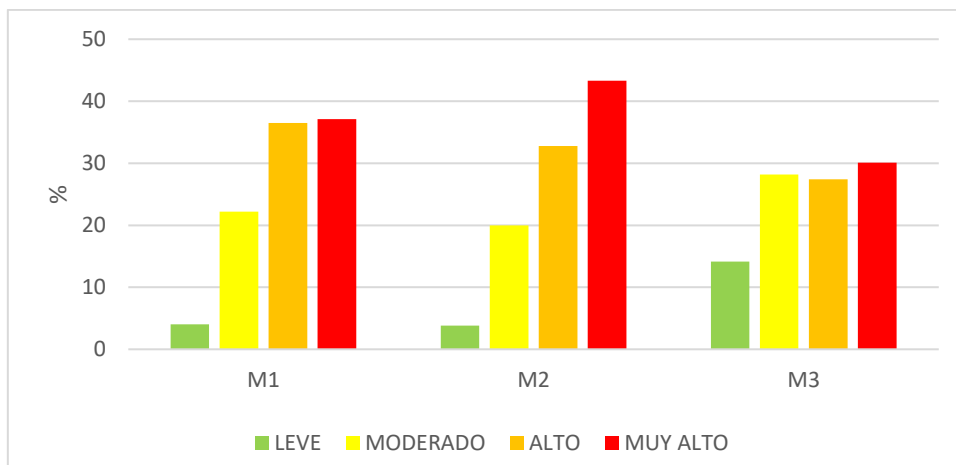


Figura 64. Representación porcentual de categorías de pérdida de suelo para tres momentos estudiados. Donde: M1: previo a incendio; M2: posterior al evento; M3: primavera 2018. Evento 2018.

En la Figura 65 se observa que independientemente de la severidad del incendio, los valores de pérdida de suelo por erosión hídrica superficial para ambos eventos se clasifican como muy alto (según Tabla 10) mayoritariamente en todas las superficies, siendo la categoría leve o nulo, casi inapreciable.

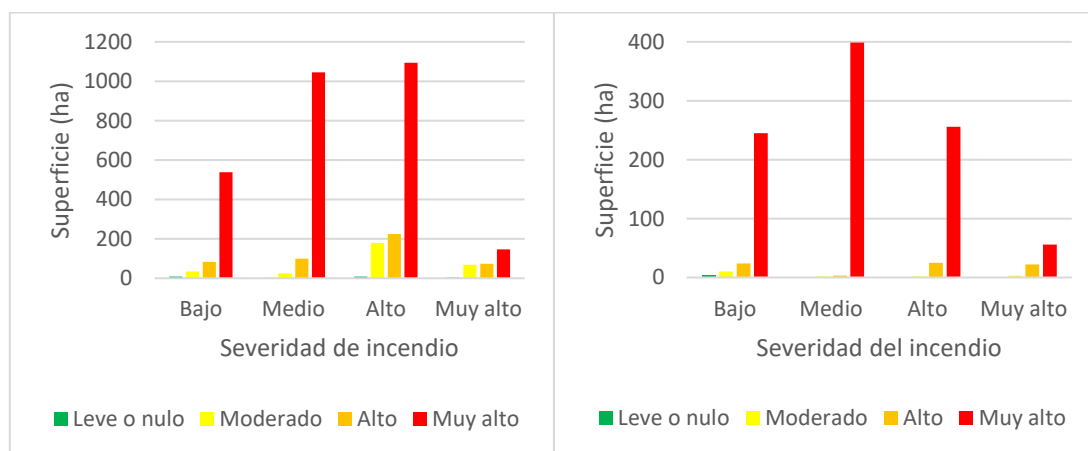


Figura 65. Severidades de los incendios en relación a la clasificación de pérdida de suelo por erosión hídrica superficial para ambos eventos. Izquierda: Evento 2013 – 2014. Derecha: Evento 2018.

Para ambos eventos se registraron aumentos del orden de los 1.000, 2.000 y 3.000 Mg/ha.año de pérdida de suelo por erosión hídrica superficial variable por coberturas según se expresa en las Figura 66 y 67. Los mayores valores se corresponden a pastizal con roca y roca (500 y 560 ha respectivamente para el incendio 2013-2014).

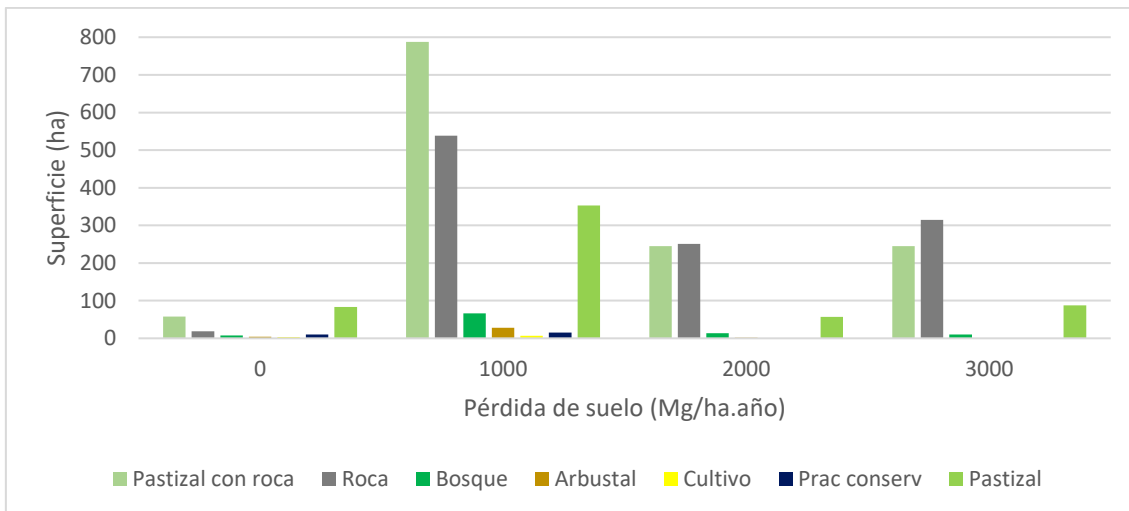


Figura 66. Aumento de pérdida de suelo por erosión hídrica superficial (A) por incendios. Año 2014.

Por su parte, los incendios que afectaron coberturas arbóreas presentaron un aumento del orden de los 1.000 Mg/ha.año en su mayoría, siendo un 66% para el incendio 2013-2014 y un 48% para el incendio 2018, pudiendo notar que mayores efectos erosivos causó el evento 2018 en suelos con cobertura arbórea.

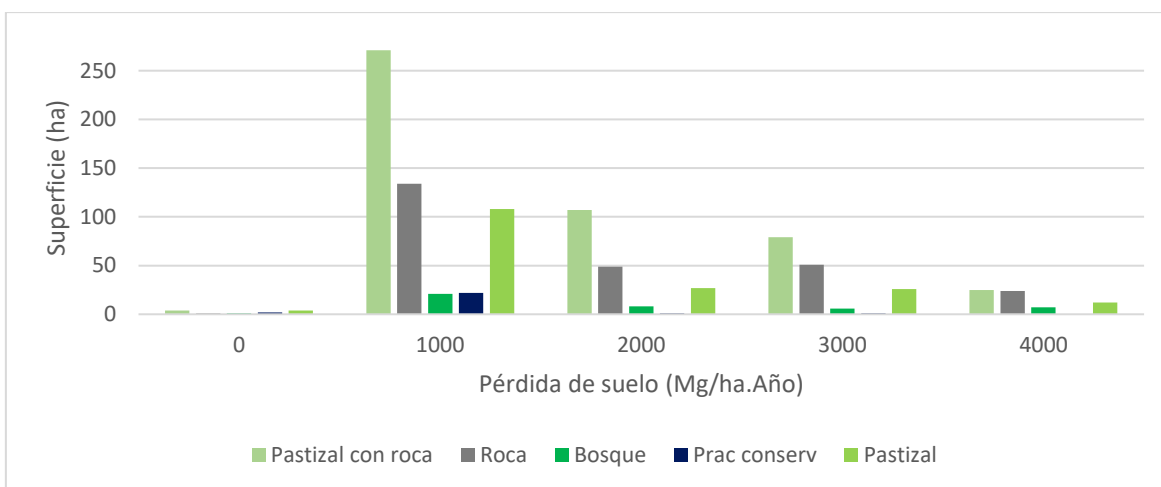


Figura 67. Aumento de pérdida de suelo por erosión hídrica superficial (A) por incendios. Año 2018.

En las Figuras 68 y 69 se comparan los tres momentos para cada evento. En ambas, la figura superior muestra la variación de pérdida de suelos por erosión hídrica superficial entre los momentos previo al incendio y extintos estos. Por otro lado, la imagen inferior muestra la variación de pérdida de suelos por erosión hídrica superficial entre los momentos una vez extintos los incendios y tiempo posterior, dando lugar a la recuperación de cobertura por parte del ecosistema, tanto por efectos de los incendios como condiciones climáticas.

La comparación de cantidades diferenciales entre momentos estudiados arrojó para ambos casos aumentos del orden de 1.000 a 3.000 Mg/ha.año luego del incendio, variando dichos valores según la pendiente, el suelo afectado y la cobertura incendiada,

denotando que la interacción de dichos factores se relaciona con las severidades registradas (a mayor severidad, mayor pérdida de suelo). Asimismo, se observa que en sitios que no han sido incendiados también muestran un aumento considerable de pérdida de suelo, especialmente por las condiciones climáticas que se registraron al momento de los incendios (altas temperaturas y déficit hídrico, mencionado en el Capítulo 1), representando peores coberturas de suelos o coberturas menos vigorosas.

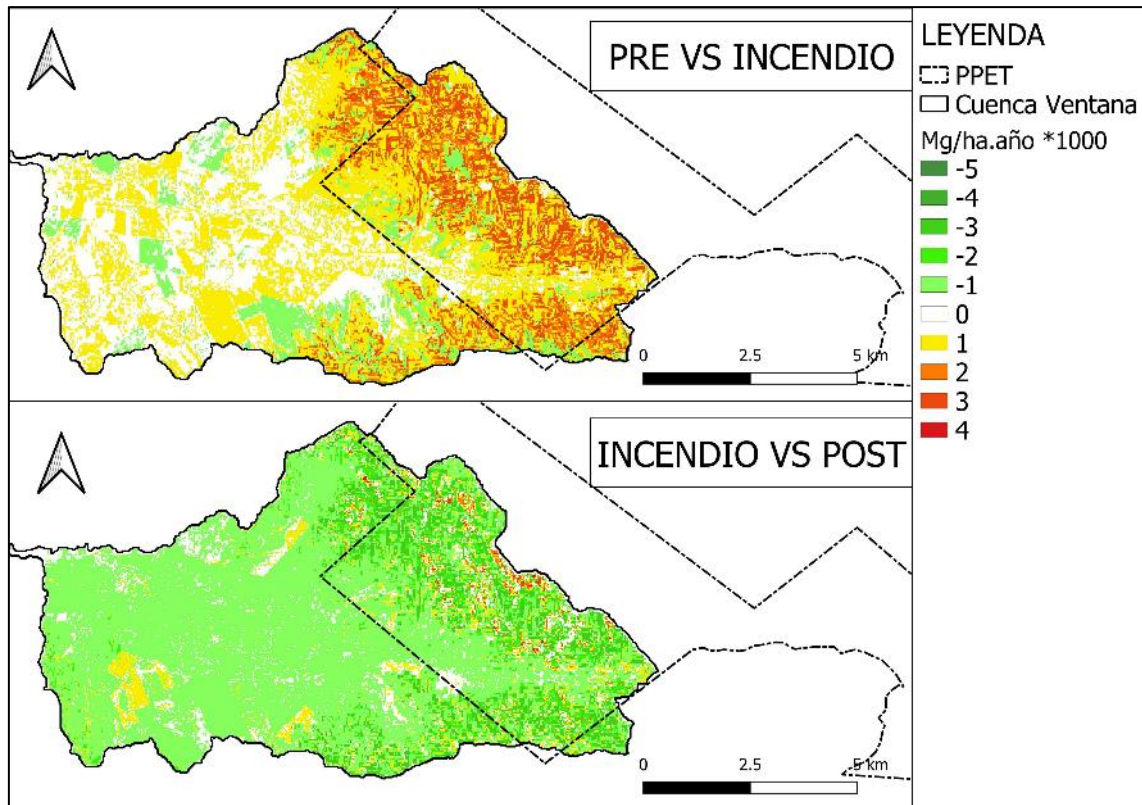


Figura 68. Diferencia en miles de Mg/ha.año para el evento 2013-2014. Arriba: diferencia de valores previo al evento y posterior al evento. Abajo: diferencia de valores posterior al evento y tres meses luego de extinto el incendio. Calculado mediante USLE.

En la parte inferior de las Figuras 68 y 69 se observa la recuperación notoria que tiene el ecosistema a estos eventos, registrándose que entre los 3 y 6 meses posteriores a los eventos, los valores de pérdida de suelo disminuyen en el orden de los 2.000 a 4.000 Mg/ha.año, debido a la recuperación de la cobertura del suelo. Sin embargo, sitios que presentaban cobertura arbórea y fueron afectados por incendios severos, no se registraron dichos valores de recuperación. Se destaca que al año 2020, hay una recuperación de valores en sitios que fueron afectados por incendios forestales tanto en el año 2014 como el 2018, donde se ha establecido regeneración de pinos y retamas. Esto podría relacionarse con el avance de las especies exóticas, las cuales pueden haber ganado terreno por su capacidad de ocupación de áreas disturbadas y de regeneración favorecida por incendios.

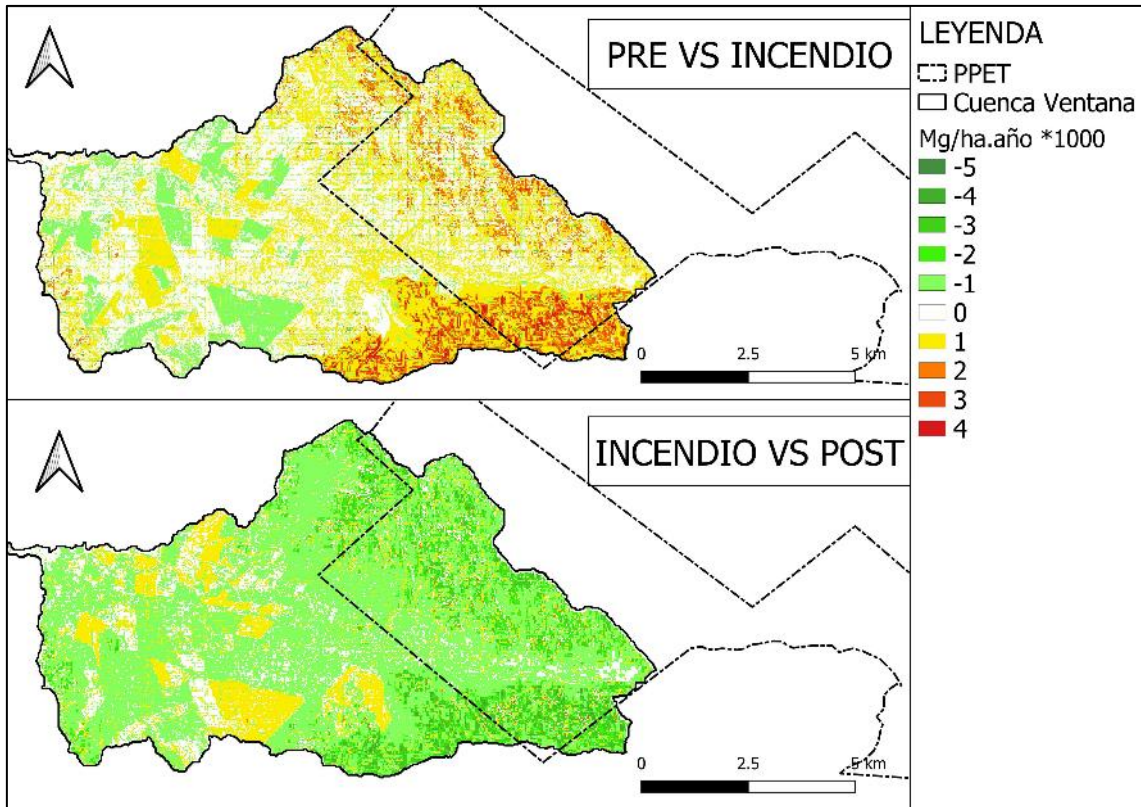


Figura 69. Diferencia en miles de Mg/ha.año para el evento 2018. Arriba: diferencia de valores previo al evento y posterior al evento. Arriba: diferencia de valores posterior al evento y primavera siguiente. Calculado mediante USLE.

Por último, en la Figura 70 se observa la diferencia de valores registrados en los eventos, comparado con valores del año 2020. Se registran diferencias en áreas incendiadas superiores a 2.000 Mg/ha.año de aumentos de pérdida de suelo por erosión hídrica superficial. Como diferencia entre ambos eventos, además de las superficies afectadas, vale mencionar que en el año 2018 se alcanzan diferencias de hasta 4.000 Mg/ha.año, sobre todo en áreas de alta severidad. Asimismo, debe considerarse que el área incendiada en el año 2018 también lo fue en evento previo.

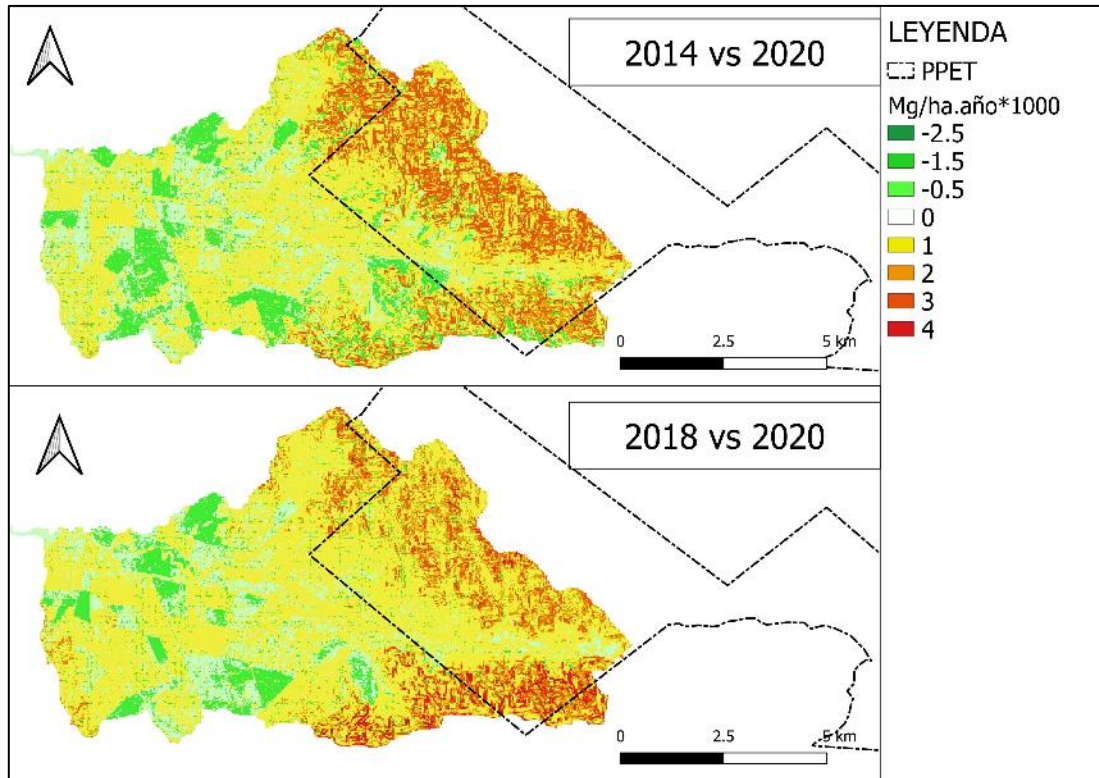


Figura 70. Comparación de pérdida de suelo registrada luego de los eventos con la pérdida actual de suelos calcula mediante USLE para el año 2020.

Las Figuras 68 y 69 exponen claramente como la ocurrencia de incendios desencadena potenciales procesos erosivos en áreas incendiadas, donde se registran aumentos muy notorios de pérdidas de suelos anuales, todos clasificados como muy alto según Tabla 10.

4. CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados alcanzados constituyen una base de datos inédita, que debe ser validada por medio de parcelas experimentales en campo, logrando un ajuste de la metodología y aplicación de herramienta SIG-USLE, especialmente con el objetivo de ajustar modificaciones en los valores de Factor K debido a incendios como así también ajustar a un período determinado la ventana de alteración (la cual podría variar de acuerdo a la severidad del incendio, la cobertura afectada, el momento del evento y las condiciones climáticas).

El presente estudio permitió evaluar el grado de deterioro de los suelos productivos en la Cuenca del Arroyo Ventana, considerando el impacto causado por el empleo de sistemas basados en la agricultura permanente y gran proporción de suelos altamente erodables. Debido a esto se hace indispensable la intervención con medidas de manejo de suelo y utilización de coberturas vegetales adecuadas para lograr un control del proceso erosivo, habiendo demostrado la importancia de la implementación de prácticas conservacionistas. La erosión hídrica superficial actualmente supera los 50 Mg/ha.año en el 58 % de la cuenca, favorecido por las elevadas pendientes, la gran proporción del suelo con roca en superficie y las coberturas herbáceas con poco recubrimiento.

Según se pudo concluir de los cálculos realizados, los incendios abren una ventana de alteración en el ecosistema, donde se pueden desarrollar fuertes procesos erosivos por erosión hídrica superficial, especialmente ante eventos torrenciales. Sin embargo, vale la pena destacar la gran resiliencia que tiene este ecosistema, observando recuperación notoria de valores previos a incendios en términos de reverdecimiento y vigorosidad (justificado por valores de NDVI registrados).

Se evidenció el importante rol que tienen los sitios forestales como reguladores hídricos y de protección de sitios altamente erodables de cuencas hidrográficas. Según se calculó en el presente capítulo, logran disminuir en hasta 1.500 Mg/ha.año la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial. Sin embargo, entra en juego el rol ecológico que cumple esta vegetación en este ecosistema. Ya se ha mencionado anteriormente el carácter invasivo que tiene el pino en este ecosistema, desplazando flora y fauna nativa. A esto debe agregarse la vulnerabilidad que presenta este ambiente a los incendios. Se ha concluido que desencadenan una mayor erodabilidad de los suelos afectados por incendios forestales que por pastizales, observando mayores severidades, pérdida de materia orgánica y fuerte impermeabilidad de los suelos, aumentando consecuentemente el escurrimiento superficial y la potencial pérdida de suelo ante eventos torrenciales. Si bien este ecosistema sin vegetación arbórea presenta una alta vulnerabilidad luego de los incendios, la ocurrencia de incendios forestales empeora dicha situación. Sería un desafío poder caracterizar si la erosión que evitan los bosques es mayor que la potencial que puede desencadenarse ante incendios.

Finalmente, se enfatiza el aporte significativo que tiene el uso de un SIG para estudios medioambientales con el objetivo de poder tener una visión más íntegra de la situación y consecuentemente para el proceso de toma de decisiones.

CAPÍTULO IV

ESTIMACIÓN DE RIESGO DE EROSIÓN POR ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

1. INTRODUCCIÓN

El método del Número de Curva (NC) constituye una herramienta que permite realizar estudios hidrológicos en cuencas hidrográficas cuando hay una deficiencia de registros extensos y confiables, además, fácilmente incorporable a una base de datos georreferenciados. El uso de los SIG constituye una valiosa herramienta para la modelización hidrológica, permitiendo realizar operaciones de manera automática (Gaspari et al., 2011).

El método NC, desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos, se basa en la estimación directa del escurrimiento superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, uso y cobertura vegetal (SCS, 1964; Mintegui Aguirre & López Unzú, 1990; López Cadenas del Llano, 1998). El método expresa el escurrimiento directo (P_e) en respuesta ante una precipitación (P). Este modelo asume que un complejo suelo-vegetación y condición de humedad antecedente (humedad media del suelo) homogénea en la cuenca, se comporta de manera similar frente a una tormenta (P). A menor NC, menor es el escurrimiento.

El objetivo del presente capítulo es determinar el riesgo de erosión hídrica superficial del suelo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la obtención de mapas de riesgo de erosión por escurrimiento superficial se procedió aplicar la metodología expresada en la Figura 71, mediante el uso del Software de código abierto QGis Madeira 3.4.6.

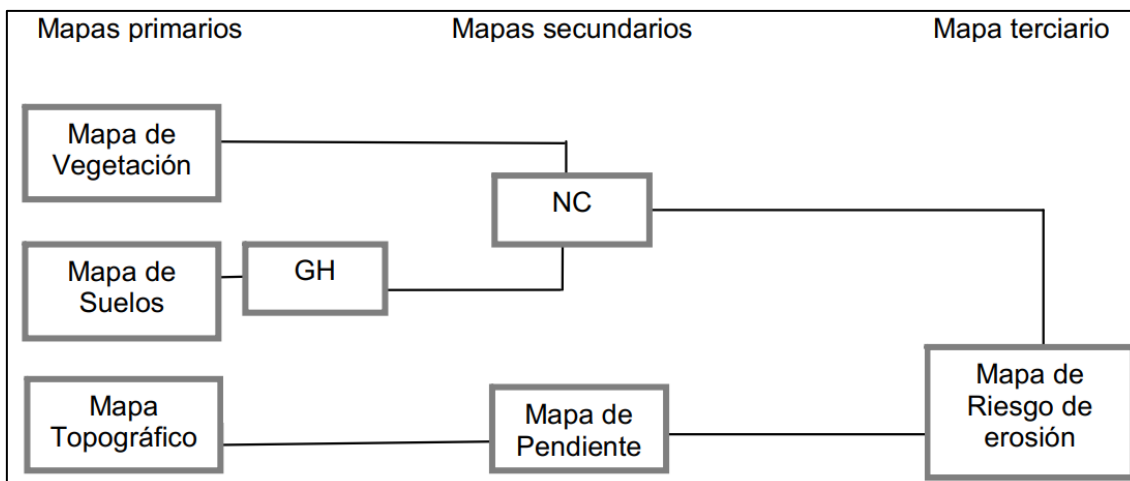


Figura 71. Modelo cartográfico para la obtención de Riesgo de Erosión. (Gaspari et al., 2013).

La cobertura vegetal, y el uso actual para el año 2020, se zonificó por interpretación de información antecedente y apoyo de imágenes satelitales, para cuya identificación se especificaron ocho clases donde se consideró la estructura y tipo de cobertura vegetal y uso del suelo. Posteriormente, esta zonificación permitió la definición de los campos de entrenamiento para realizar la clasificación supervisada de la cobertura vegetal, ajustada al área en estudio, sobre la imagen del Satélite Sentinel 2 de composición RGB 843 y NDVI, con fecha 02 de enero de 2020. La clasificación supervisada sirvió como herramienta de control y corroboración de unidades de cobertura vegetal y uso homogénea. Por su parte, la cobertura denominada “arbustal” fue zonificada con la utilización de imágenes de Google Earth donde se trazaron polígonos de acuerdo con la presencia de retama (arbusto predominante en el área de estudio), la cual fue reconocida por su floración en el mes de noviembre. Esta herramienta fue útil debido a la gran resolución espacial que presentan dichas imágenes, como así también poder observar en color natural la superficie que se quiere zonificar (donde se puede detectar el color amarillo característico de la Retama).

Para la determinación de la escorrentía, factor generador de erosión hídrica superficial, se utilizó el método del Número de Curva (NC) desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos (Mintegui Aguirre & López Unzú, 1990; Gaspari, 2002; Mintegui Aguirre et al., 2003). Este método se basa en la estimación directa de la escorrentía superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, uso del mismo y de su cubierta vegetal (López Cadenas del Llano, 1998). Un valor bajo de NC indica una mayor infiltración, mientras que su aumento corresponde al incremento de la escorrentía superficial, generando una mayor erosión hídrica superficial. El NC se aplica para diferentes condiciones de humedad antecedente del suelo, siendo la condición II, correspondiente a la capacidad de campo, utilizada en este trabajo.

El procesamiento cartográfico de la información digital de suelos (Figura 9), permitió la generación de un mapa que expresa la zonificación de los grupos hidrológicos (GH), que representa diferentes áreas en base a la textura y permeabilidad del suelo, según los criterios del Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos (Mintegui Aguirre & López Unzú, 1990; Gaspari, 2002; Mintegui Aguirre et al., 2003). Los GH se clasifican en clase A: arenoso; B: franco-limoso; C: franco-arcillosa; D: arcillo limoso y/o presencia de roca en superficie, clasificación que se realizó mediante información obtenida del sitio web anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/index.htm del Instituto Nacional de Tecnología

Agropecuaria, pudiendo consultar las cartas de las series de suelos presentes en el área de estudio.

A partir del análisis de cobertura vegetal y uso generado por cartografía para el año 2020 (Figura 12), se estableció el valor de NC ponderado que representa el complejo suelo-vegetación que responde al escurrimiento en la cuenca del Arroyo Ventana.

Para la cuantificación espacial del riesgo de erosión hídrica superficial actual (año 2020) se procedió a generar una superposición cartográfica entre el NC y la grilla de valores de pendiente, la cual incide directamente en la emisión, transporte y depositación de sedimentos. La zonificación de la pendiente se estableció en base al Modelo Digital de Elevaciones (MDE) (Figura 7), para el área de estudio.

Los valores de Número de Curva y pendiente en porcentaje fueron reclasificados en rangos de acuerdo con la Tabla 15, con lo cual se obtuvo consecuentemente un mapa de rangos de riesgos de erosión hídrica superficial.

Tabla 15. Rangos de riesgo de erosión hídrica superficial, según valores de pendiente y Número de Curva, (Referencias: Muy Bajo (MB), Bajo (B), Medio (M), Alto (A) y Muy Alto (MA)). (Gaspari et al, 2018).

		Rangos de Número de Curva			
		< 60	60 - 70	70 - 80	> 80
Pendiente (%)	< 3	MB	MB	MB	B
	3 - 12	MB	MB	B	M
	12 - 18	MB	B	M	A
	18 - 24	B	M	A	MA
	24 - 30	M	A	A	MA
	> 30	A	MA	MA	MA

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con relación al análisis de la erosión hídrica superficial dentro de la cuenca del Arroyo Ventana se identificaron los Grupos hidrológicos B, C y D, con una superficie de ocupación de 1.781 (24.3%); 1.948 (26.6%) y 3.583 ha (49.0%) respectivamente (Figura 72). Estos valores denotan una gran parte de la superficie correspondiente al Grupo Hidrológico D, cuyas superficies se corresponden a texturas arcillosas y/o afloramientos rocosos, condiciones que predisponen a un mayor riesgo de erosión hídrica superficial.

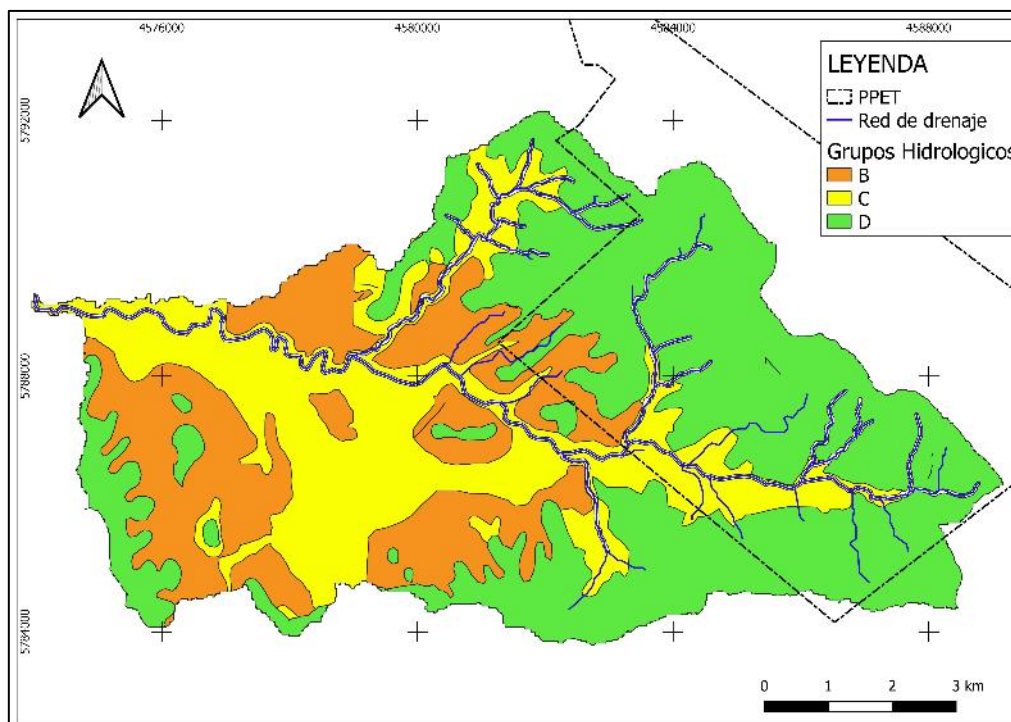


Figura 72. Clasificación de grupos hidrológicos para Cuenca del Arroyo Ventana.

Los valores de Número de Curva asignados por cruzamiento de GH y coberturas, se expresan en la Tabla 16.

Tabla 16. Número de Curva para cada cobertura discriminado por GH.

Cobertura	Grupo Hidrológico		
	B	C	D
Pastizal	58	73	79
Pastizal con roca	79	86	89
Bosque	52	63	69
Arbustal	60	69	75
Cultivo	78	85	89
Cultivo con PC	74	79	85
Roca	85	90	95
Urbano	74	82	86

En cuanto a los Número de Curva obtenidos, en la Tabla 16 y Figuras 73 y 74, se observa una clara relación de los resultados obtenidos a los GH, según se mencionó anteriormente. El mapa denota una gran área perteneciente a rango de Número de Curva mayor a 80 (62%), la cual se relaciona directamente a GH D, sin poder mostrar grandes diferencias en cuanto a la cobertura existente. Por su parte, la clase 70 – 80 (33%) se representa en gran medida, especialmente en área agrícolas correspondientes

a GH C y áreas agrícolas con prácticas conservacionistas en las cuales, debido a estas prácticas, se han podido ubicar en dicho rango. El rango 60 – 70 no se encuentra representado en gran medida, pero es importante mencionar que en los lugares que se zonificó, corresponde a áreas boscosas que se encuentran sobre áreas rocosas, demostrando la importancia que tiene esta vegetación para disminuir el riesgo de erosión. Los valores menores a 60 corresponden a pastizales naturales sobre GH B, mostrando los menores valores.

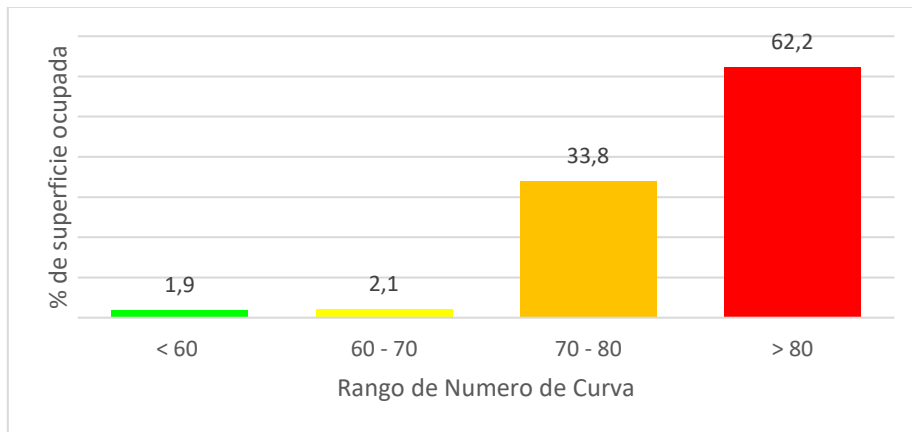


Figura 73. Porcentaje de superficie ocupada por rango de Número de Curva. Cuenca del Arroyo Ventana.

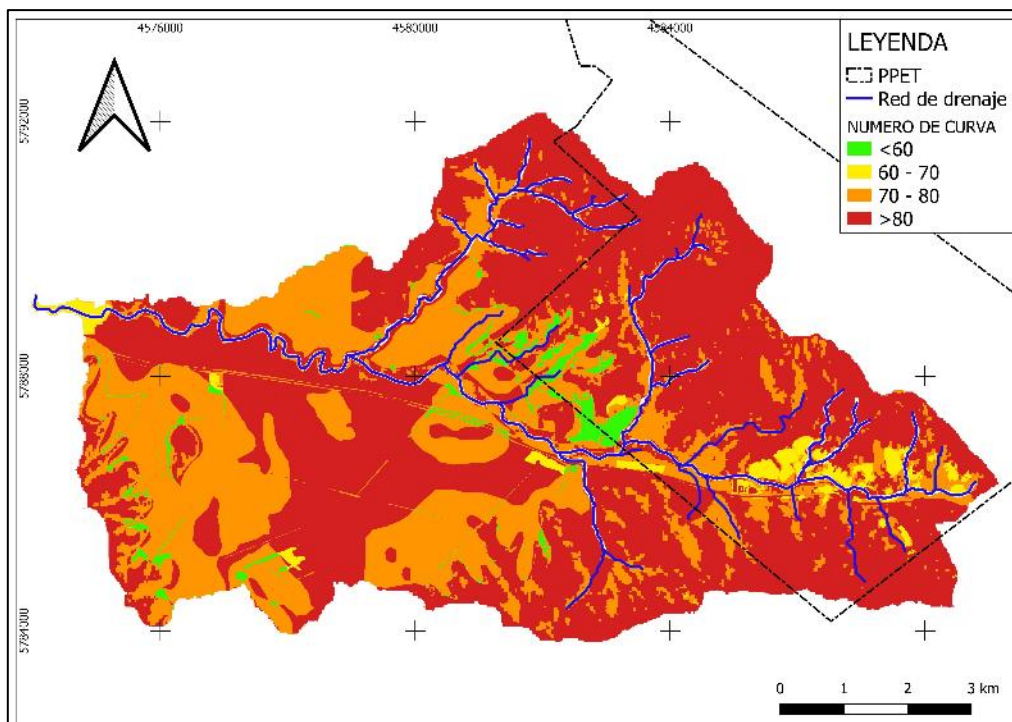


Figura 74. Rangos de Número de Curva para la Cuenca del Arroyo Ventana.

El mapa que representa los rangos de pendiente de la Cuenca del Arroyo Ventana mencionados corresponde a la Figura 7. El mismo expresó una zonificación en rangos según la Tabla 15, alcanzando un porcentaje de superficie de ocupación por rango de:

14, 40,2, 11, 7,7, 6 y 21 % respectivamente, identificando una alta participación del rango de pendiente mayor al 12% (45%) (Figura 75).

A partir de este detalle se interpreta que la cuenca presenta pendientes con moderado a alto poder erosivo, expresado en la ocupación de una superficie de 6.621 ha con pendientes superiores a 3%, rango que se considera como umbral de inicio de la actividad erosiva superficial por acción del agua.

Como se puede observar en la Figura 75, se distinguen claramente dos rangos predominantes: 3-12%, superficie ocupada especialmente por tierras agrícolas, y >30%, correspondientes a áreas serranas.

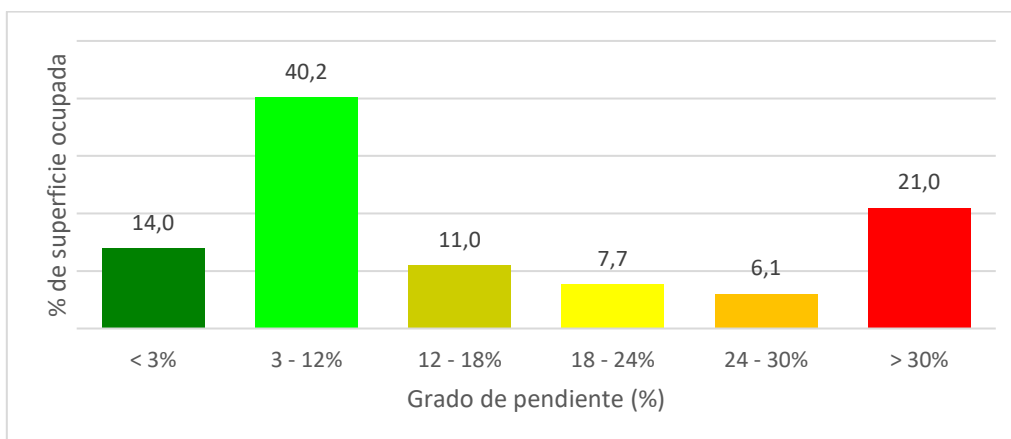


Figura 75. Porcentaje de ocupación de superficie por grado de pendiente

Los resultados finales muestran que la Cuenca de Arroyo Ventana presenta dos áreas bien diferenciadas en cuanto al riesgo de erosión hídrica por escurrimiento superficial, lo cual se visualiza en la Figura 76.

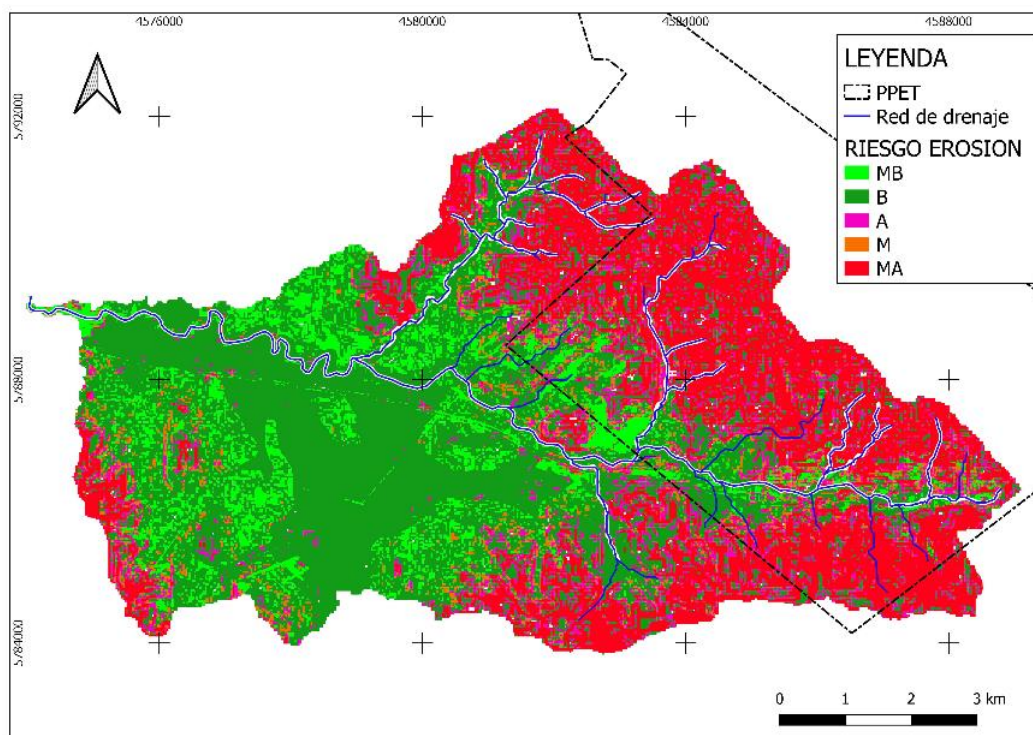


Figura 76. Riesgo de erosión hídrica por escurrimiento superficial para Cuenca del Arroyo Ventana. (Referencias: Muy Bajo (MB), Bajo (B), Medio (M), Alto (A) y Muy Alto (MA)).

En primer lugar, más de la mitad de la superficie está representada por categorías muy bajo y bajo (Figura 77), especialmente en áreas de cultivos agrícolas con pendientes menores al 12%. Si bien se observa un área homogénea de categoría bajo, resulta notable que en el mapa de rangos de número de curva este se encuentre entre los valores más alto. Esto se debe a que allí se encuentran cultivos agrícolas sobre suelos de textura franco-arcillosa, con pendientes en gran proporción, menores al 3%. Si bien el riesgo resulta bajo, se podría optar por la implementación de prácticas conservacionistas para disminuir aún más estos valores. Asimismo, se destaca que aquellos sitios que presentan cultivos con prácticas conservacionistas, el riesgo de erosión es bajo o muy bajo, aun ubicándose en sitios con pendientes mayores al 12%.

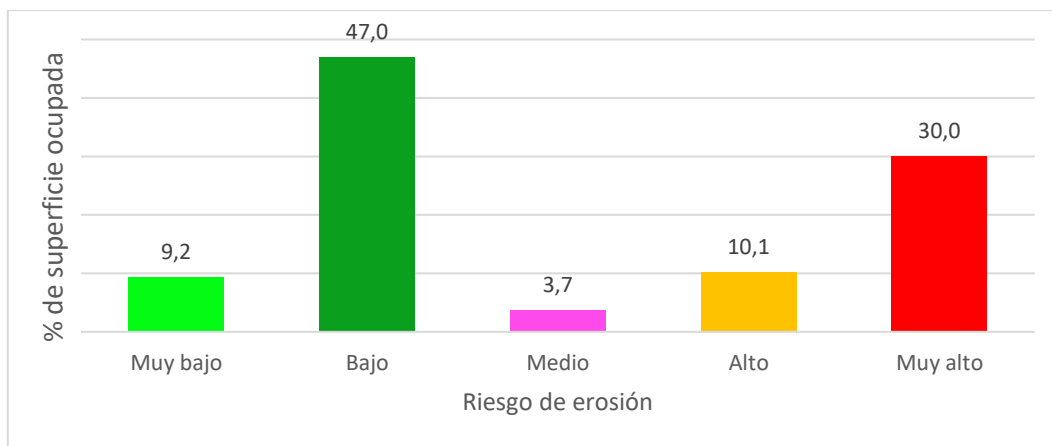


Figura 77. Porcentaje de riesgo de erosión respecto a la superficie total del área de estudio.

Por otro lado, y contrapuesto a lo mencionado anteriormente, el 40% de la superficie presenta un riesgo de erosión alto y muy alto, siendo esta, áreas serranas con elevadas pendientes y cobertura con altos valores de Número de Curva, especialmente sitios con roca en superficie y pastizal con roca.

Es importante mencionar que sitios con elevadas pendientes que corresponden a bosque como cobertura, presentan riesgos de moderado a bajo. Sin embargo, en algunos de esos sitios, por más cobertura arbórea que se encuentren, las elevadas pendientes generan que el riesgo sea alto o muy alto (Figura 78).

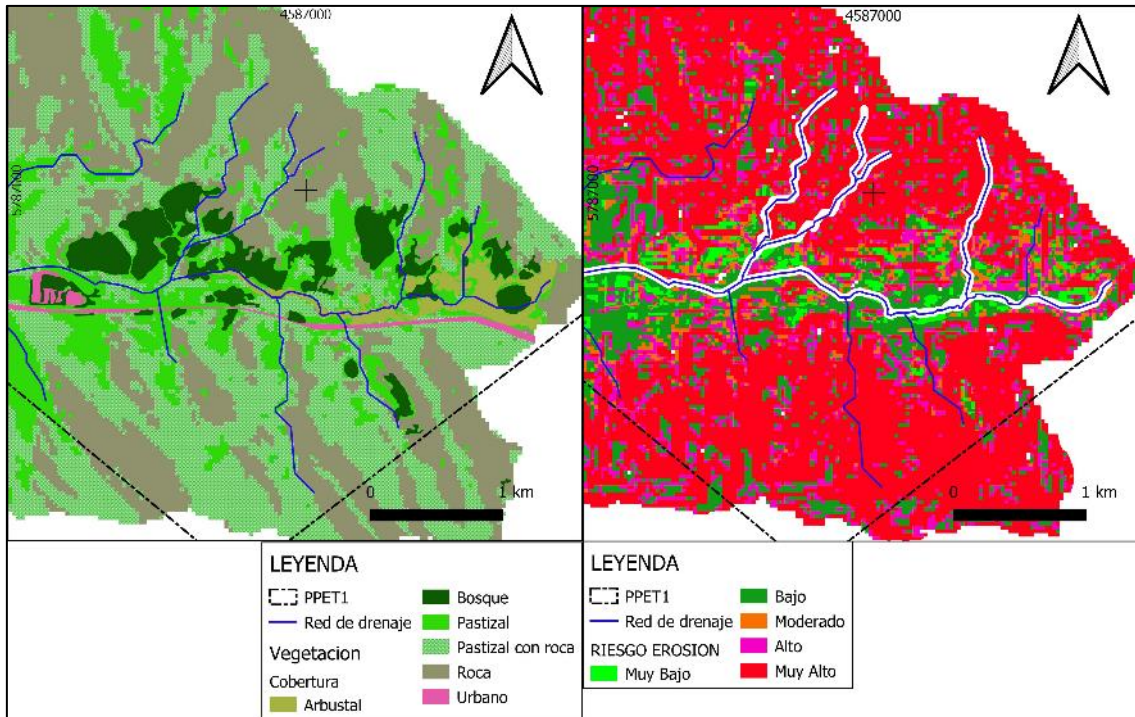


Figura 78. Riesgo de erosión (derecha) comparado con cobertura existente al año 2020 (izquierda).

Los incendios ocurridos en el sitio que han sido estudiados en los capítulos anteriores modifican las condiciones que se registran en la Figura 78 ante la presencia de vegetación arbórea, aumentando consecuentemente los valores de NC por disminución de cobertura existente, protectora del suelo. Consecuentemente, el escurrimiento superficial aumenta considerablemente, directamente relacionado a los riesgos de erosión hídrica superficial.

Debe considerarse que la vegetación arbórea que es afectada por incendios trae aparejado mayores riesgos de erosión por el tiempo que tarda el ecosistema en recuperar cobertura sobre el suelo, pudiendo ser de mínimo un año para bosques, y meses para pastizales. Ante esta situación, queda en discusión las consecuencias que trae aparejado un incendio forestal en cuanto al riesgo de erosión que se desencadena, y los servicios ecosistémicos que brindan los árboles como protectores de cuencas hidrográficas.

4. CONSIDERACIONES FINALES

La estimación y zonificación de la pérdida de suelo superficial por medio de la evaluación del riesgo de erosión hídrica superficial, efectuadas con SIG, denotaron la influencia que ejerce la cobertura y la pendiente sobre la dinámica de la erosión hídrica superficial. La aplicación de la metodología para identificar y calificar la erosión hídrica superficial potencial en cuencas hidrográficas por medio del NC y su interacción con un SIG resultó adecuada para el objetivo propuesto en este trabajo.

A partir de la información generada se concluyó que es realmente importante y necesaria la implementación de medidas conservacionistas en las áreas de cultivos agrícolas afectadas por erosión hídrica superficial en la Cuenca del Arroyo Ventana, de condiciones serrana bonaerense, con el objetivo de lograr contener y evitar la remoción del recurso suelo a nivel superficial. Las medidas de conservación de suelos, en sitios identificados como de alta erosión potencial, están dirigidas a objetivos concretos, como la rehabilitación, la ordenación y la restauración de terrenos agrícolas-forestales degradados y la protección del núcleo urbano rural, de las zonas de recreación y vías de comunicación para el desarrollo sustentable de la cuenca hidrográfica.

Asimismo, se destaca la gran superficie relativa que presenta riesgos de erosión hídrica superficial alto y muy alto, predispuesto esto por la vegetación y pendiente existentes. De acuerdo con el objetivo planteado en el presente trabajo, resulta importante destacar que estas áreas se corresponden con sitios que han sido afectados por los incendios caracterizados anteriormente, concluyendo que dichas áreas quedarán aún más vulnerables ante un incendio por la desaparición de cobertura vegetal que pueda interceptar las precipitaciones. Es aquí donde recae la importancia de medidas de prevención de incendios de altas severidades, como así también la implementación de medidas de mitigación de los daños ocasionados y de prevención de erosión posterior al evento, período en el cual el suelo queda propenso a sufrir la erosión hídrica superficial en mayor escala.

CAPÍTULO V

PROPUESTAS DE MEDIDAS DE MANEJO

1. INTRODUCCIÓN

En los capítulos anteriores se ha desarrollado el efecto que tienen los incendios ocurridos en la zona de estudio, denotando principalmente los procesos erosivos que se pueden desencadenar, la influencia de la vegetación arbórea en la regulación hídrica y el aumento de la severidad de los incendios. Se destacó la resiliencia que tiene el ecosistema natural ante dichos eventos.

Numerosos trabajos en los últimos años han demostrado los efectos negativos que tienen los bosques de pino establecidos en la dinámica natural de los pastizales pampeanos (Sanhueza & Zalba, 2009), la relación que tienen estos con el pastoreo de caballos cimarrones (Villalobos, 2009) y la biología reproductiva de *Pinus radiata* y *Pinus halepensis* en el PPET (Cuevas & Zalba, 2004; Fernández, 2010;). Asimismo, se han desarrollado investigaciones que buscan como objetivo el control de pinos invasores en el PPET y la consecuente restauración de pastizales naturales (Cuevas & Zalba, 2009; Cuevas, 2011; Cuevas & Zalba, 2013; Brancatelli et al., 2019).

Teniendo cuenta dichas consideraciones, resulta indispensable enmarcar dichas acciones dentro de un Programa de Ordenación y Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, que, para el área de estudio, debería abarcar la Cuenca Sauce Chico. A modo de síntesis, se comprometerá a:

- Considerar la cuenca hidrográfica como unidad de planificación y gestión, impulsando estudios, planes y proyectos de manejo integral de cuencas hidrográficas.
- Proporcionar y/o implementar planes, programas y proyectos rurales de conservación de suelos y aguas, a nivel de microcuencas, con el objeto de evitar su degradación y fomentar su recuperación.
- Desarrollar programas de investigación aplicada y difusión en el ámbito de cuencas hidrográficas y de conservación de suelos y aguas.
- Gestionar y/o ejecutar proyectos de restauración hidrológica forestal en subcuencas críticas y prioritarias con fines de uso múltiple.
- Evaluar y monitorear los procesos que inciden en la degradación y funcionamiento de cuencas hidrográficas.
- Promover la participación de la población y comunidad local a todo nivel mediante campañas de difusión y sensibilización.
- Propender a fortalecer una cultura del agua y del suelo en el ámbito del manejo integral de recursos naturales asociados a cuencas hidrográficas de zonas de montaña.

El manejo de cuencas es un método potente de planificación que aplica un enfoque holístico, destacando la interconectividad de los recursos naturales entre los usuarios aguas arriba y aguas abajo, aplicando el concepto de ecosistema, los principios de la ciencia ecológica y los lineamientos del desarrollo sostenible. Además, facilita el

monitoreo y evaluación del efecto de las inversiones en conservación de vertientes para protección del agua y privilegia la protección del valor estratégico del recurso (Gaspari et al., 2009).

Rábade Blanco (2006) describe los tres principios esenciales sobre los que se fundamenta la ordenación de los espacios naturales, rurales y forestales de las cuencas hidrográficas:

1. El reconocimiento de la multifuncionalidad de dichos espacios, que obliga a conciliar los intereses de los diferentes sectores y actores implicados en el uso del territorio.
2. La necesidad de preservar la biodiversidad, los valores naturales y las funciones ecológicas de dichos espacios.
3. Como síntesis de lo anterior, la búsqueda de un modelo sostenible de desarrollo que permita la mejora de la calidad de vida de las poblaciones locales preservando el medio ambiente y sin comprometer el futuro de las generaciones venideras.

El objetivo principal de la ordenación agrohidrológica es la mejora de la calidad de vida de las poblaciones locales mediante la protección de los suelos, la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad. A su vez, la mejora de los recursos económicos propios permitirá generar empleo y estabilizar la población evitando las migraciones en origen, potenciando el desarrollo de los sectores económicos basados fundamentalmente en el aprovechamiento ordenado de los recursos naturales propios: sector forestal, turismo rural, caza y pesca, sector agro-ganadero, productos naturales, entre otros (Rábade Blanco, 2006).

Con lo mencionado anteriormente, el objetivo de este capítulo es analizar la temática de incendios forestales y pastizales en el Plan Manejo del PPET y plantear medidas de manejo y conservación de suelos a implementar para prevenir daños futuros en áreas incendiadas.

Plan de Manejo del Fuego / Sistemas de alerta

EL PPET está elaborando un Plan de Manejo del Fuego (PMF) que se inscribe dentro del Plan de Manejo de PPET (1997) y se instrumenta a través de un Plan de Protección y Estrategia Operativa. Si bien hubo intención de crear dicho Plan, no se encuentra vigente aún. El objetivo del PMF es establecer mecanismos de uso del fuego como herramienta necesaria para garantizar la dinámica del sistema ecológico, mantener su capacidad de carga y, en general, asegurar la preservación ambiental de la porción de ecosistema nativo protegido. El Plan de Protección y Estrategia Operativa incluye los lineamientos de acción que permitan prevenir y eventualmente sofocar todo incendio no deseado en jurisdicción del parque, e instrumentar operativa y logísticamente las quemas prescriptas programadas. En él se consideran valores amenazados prioritarios a: la vida humana, las especies en peligro de extinción y/o endémicas, el patrimonio cultural, las áreas de reserva natural estricta y la infraestructura del área. Los objetivos de protección son:

1. Evitar fuegos no deseados producidos por el hombre, salvo que las pautas de manejo del fuego consideren a este parte del ecosistema.
2. Minimizar la superficie afectada por los fuegos no deseados.

3. Procurar que el despacho de la brigada de lucha contra incendios no supere los 3 minutos después de recibida la alarma.
4. Optimizar medidas de prevención y detección de los focos de incendio.
5. Obrar en consecuencia con la clasificación de los valores amenazados.

Con respecto a la prevención se prevé, por un lado, reforzar las acciones tendientes a la educación y difusión a través de charlas educativas en los establecimientos escolares de las localidades serranas, micros informativos preventivos en programas radiales y televisivos, carteles preventivos en los sitios de mayor afluencia turística y recorridas de prevención y educación en las épocas críticas de mayor índice de peligrosidad de incendio. Por otro, tareas tales como disminuir el material combustible circundante a construcciones, caminos, límites de la reserva y a las áreas de descanso, mantener en condiciones los tanques reservorios de agua y el equipamiento contra incendios y reducir los lugares permitidos para realizar fuego. Además, contempla una guardia diaria permanente, desde diciembre hasta febrero, con una camioneta equipada para la detección temprana y primer ataque contra incendios.

Hoy en día, según informó Diego Repetto (Guardaparque Provincial del PPET), se está trabajando en el Protocolo de Coordinación de Incendios Forestales y de Interfase (POCIF), el cual aún está en proceso de elaboración. El mismo está apoyado en su accionar en los objetivos del Plan de Manejo del PPET, del cual también se desprende el Plan Operativo Anual (POA), mientras que en Plan Nacional de Manejo del Fuego brinda logística y mano de obra al momento de combatir incendios.

El POCIF establece un orden de prioridad de acciones en cuanto a lugares donde se producen quemas prescriptas y sitios que se protegen mediante acciones para que no resulten afectados por el fuego, con el objetivo de cumplir con la dinámica natural de los incendios. Asimismo, el POCIF contempla el Sistema de Comando de Incidencia (SCI), con objetivo de evaluación post incendio de las causas y consecuencias de los eventos ocurridos de manera conjunta entre el personal del PPET e instituciones actuantes en los incendios.

2. PROPUESTAS

Habiendo mencionado a modo de síntesis el contexto en el cual se debe desarrollar un Programa de Ordenación y Plan Integral de Manejo de Cuencas Hidrográficas, a continuación, se desarrollan posibles medidas y acciones a desarrollar en el área de estudio teniendo en cuenta los resultados y conclusiones alcanzados en los capítulos anteriores.

A modo de consideración personal, los objetivos que deben buscarse en el área de estudio tienen que procurar tanto la restauración y conservación de áreas naturales, como así también la mitigación de procesos erosivos.

2.1. Medidas preventivas

Prevención de incendios puede definirse, de acuerdo con la FAO (2006) como todas las medidas de manejo del fuego, tratamiento del material combustible, ordenación forestal, utilización forestal y concernientes a los usuarios de las tierras y al público en general, incluyendo el cumplimiento de la ley, que pueden traducirse en la prevención de la ocurrencia de incendios o la reducción de la gravedad y propagación de los incendios.

Silvicultura preventiva

Para cumplir el objetivo de prevención, los métodos que se pueden utilizar para materializar este principio son la silvicultura preventiva y la construcción y mantenimiento de tomas de agua.

La silvicultura preventiva puede ser definida como el manejo de las plantaciones forestales o bosques naturales con el propósito de modificar la estructura del material combustible disponible con el fin de satisfacer los objetivos de la protección contra los incendios, asociando esta protección al mejoramiento de la producción y a la calidad del ambiente (Haltenhoff, 1998).

La silvicultura preventiva persigue modificar la estructura de las formas de vegetación para dificultar la propagación del fuego mediante actuaciones lineales y actuaciones en masa que creen discontinuidades y transformen los modelos de combustibles (Vélez, 2000). Las actuaciones lineales consisten esencialmente en el mantenimiento de áreas cortafuegos. Las áreas cortafuegos perimetrales deben separar el monte de zonas de cultivo, pastizales, urbanizaciones, basureros, instalaciones industriales o de comunicaciones, etc.

Este objetivo se consigue mediante diversificación de la masa, estableciendo discontinuidades lineales en el perímetro de esta y a lo largo de caminos, vaguadas, cursos de agua y divisorias, así como conservando o favoreciendo la alternancia de especies. La diversificación debe hacerse respetando el paisaje y el carácter de la zona, así como los hábitats de vida silvestre incluidos en ella. De esta manera, se debería considerar la incorporación de especies no invasoras como así también promover el establecimiento de árboles y plantas nativas que puedan contrarrestar el efecto invasivo de los pinos.

El agua es tal vez el elemento más importante para la extinción de los incendios forestales. No siempre es posible encontrarla con facilidad. Por eso es necesario construir o dar mantenimiento a los puntos existentes. Deben ubicarse principalmente en dependencia del riesgo de incendio de la zona y su importancia ecológica, económica y/o social. Estos puntos deben estar localizados en los mapas.

Con el objetivo de poder avanzar hacia una silvicultura preventiva en el área de estudio, o en su defecto, realizar un manejo de la masa boscosa y la vegetación arbórea presente, se desarrollan a continuación acciones que podrían ser tenidas en cuenta.

Corta fuegos

Entendiendo que el principal objetivo ante la ocurrencia de un incendio es su contención y extinción, en esta etapa los cortafuegos representan un instrumento de gran utilidad. Se definen como “... *franjas libres de vegetación y/o materiales combustibles que impiden la propagación horizontal del fuego y al mismo tiempo permiten a los brigadistas llegar al lugar del incendio con mayor rapidez y realizar tareas de contrafuego con mayor seguridad...*” (Ordenanza Municipal 2700/14).

Los cortafuegos cumplen la función, por un lado, como freno y por otro, de compartimentar la zona afectada convirtiendo un evento de grandes dimensiones en incendios de menor tamaño. En el partido de Tornquist en el año 2014 esta práctica se reglamentó a través de la ordenanza 2700/14, la cual enuncia que “...*deberán tener realizadas las correspondientes picadas y/o cortafuegos, anualmente y con anterioridad*”

al día 15 de noviembre, las parcelas que limitan con Áreas Urbanas, Áreas Naturales Protegidas, Establecimientos Educativos Rurales, Centros Poblados y/o sitios de esparcimiento, recreación y realización de actividades deportivas pertenecientes al Distrito de Tornquist...". De no cumplirse con la normativa el municipio labrará un acta e informará al propietario del campo.

El ancho de los cortafuegos varía de uno a otro y su ubicación debe tratar de hacerse perpendicular a la dirección predominante de los vientos, en el perímetro de las áreas forestales, junto a caminos o rutas, siguiendo parte aguas, dividiendo el terreno en cuartones dependiendo su tamaño de la importancia del área que se trata de proteger y del riesgo de incendios presente. Ante esto debería tenerse en cuenta la implementación estratégica de cortafuegos considerando los eventos ocurridos, especialmente, evitando el avance del fuego hacia áreas boscosas, principalmente en el PPET.

Cortas y raleos anuales. Áreas prioritarias de control de pinos

En este punto entran en juego dos aspectos que forman el mayor desafío a enfrentar en la Cuenca del Arroyo Ventana. Por un lado, realizar un control sobre la invasión de los pinos en el PPET para recuperar pastizales naturales diezmos por esta especie invasiva, cuestión que ha sido ampliamente desarrollada en numerosos trabajos. Por otro lado, considerar los servicios ecosistémicos que brindan estos bosques en función de la regulación hidrológica y el control de erosión superficial que generan, teniendo en cuenta lo vulnerable que es esta área a los procesos erosivos.

En función de la restauración del ecosistema natural, los puntos centrales consisten en establecer cuidadosamente las prioridades de control y monitorear el efecto de las acciones tomadas. En consecuencia, una de las primeras acciones que debe realizarse es la ejecución de un inventario forestal anual para poder contar con información de la dinámica de establecimiento y desarrollo de las áreas boscosas.

Cuevas (2010) ha demostrado que el fuego resulta el promotor de invasión de pinos como así también un factor de control de pinos, si el tiempo entre fuegos sucesivos es menor que el período de reclutamiento de los pinos y su maduración, estimando que una frecuencia de 5 años podría cumplir con este proceso. Asimismo, ha demostrado que las áreas restauradas han recuperado vegetación de pastizal pampeano transcurridos 22 meses. Concluye que cuanto antes se emprendan acciones de control mayores serán las chances de revertir un proceso que se presenta como una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad y los procesos ecológicos en las Sierras Australes Bonaerenses. Igualmente debe tenerse en cuenta que estas tareas implican mucho esfuerzo y resulta un proceso costoso.

Cuevas & Zalba (2013) concluyeron que debe priorizarse el sistema de manejo de pino en el PPET considerando la capacidad de recuperación espontánea del pastizal natural. Recomiendan una intervención temprana para evitar cambios en el suelo que puedan resultar irreversibles y/o condicionar la recuperación natural de las áreas por empobrecimiento del banco de semillas.

Cuevas & Zalba (2009) afirman que el costo y esfuerzo operativo, sumado a la existencia de fuentes externas de propágulos, reducen la factibilidad de alcanzar una erradicación completa de la especie a corto plazo. Recomiendan eliminar los pinos de los sectores con prioridad de manejo máxima e intermedia, promoviendo la erradicación de ejemplares de sitios de alto valor de conservación y retirar los árboles cortados en áreas de fácil acceso para evitar una recolonización a partir de las semillas que permanecen

en los conos cerrados. Han estudiado las áreas prioritarias de intervención para la conservación de los valores ecosistémicos del parque, obteniendo que gran parte del área de estudio del presente trabajo se encuentra entre las categorías prioritarias alta y media (áreas con prioridad de manejo de pinos), de acuerdo con los valores de conservación y de accesibilidad.

Con estas consideraciones, habría que analizar la posibilidad de realizar raleos y cortas anuales de ejemplares en áreas prioritarias de manera estratégica. Estas acciones deben estar íntimamente relacionadas con la silvicultura preventiva descrita anteriormente, pudiendo relacionarse con cortafuegos, modificando la estructura del bosque. Debería realizarse un relevamiento anual de la superficie ocupada por bosque, analizando el proceso de invasión y avance de la vegetación arbórea sobre pastizales, relacionándolo con los incendios registrados. Contar con esta información es clave para poder desarrollar estratégicamente las tareas de control mecánico.

Quemas prescriptas

Teniendo en cuenta las severidades registradas en los eventos estudiados, podría considerarse la implementación de quemas prescriptas. Matinez Ruiz (2001) define a la quema prescripta como la que se realiza según un plan técnico bajo prescripción condicionada por los combustibles, meteorología y topografía, para estimar un comportamiento del fuego acorde con una gestión sostenible, que marque unos objetivos con compatibilidad ecológica. Chandler et al. (1983) define a la quema prescrita como la aplicación relativamente controlada del fuego a combustibles silvestres en su estado natural o modificado, bajo condiciones ambientales específicas que llevan a confinar el fuego en un área predeterminada y al mismo tiempo, producir una intensidad calorífica y tasa de propagación requerida para atender objetivos planeados de manejo de recursos naturales.

La quema controlada es un trabajo muy técnico que exige el conocimiento del comportamiento del fuego, sus efectos sobre el ambiente y técnicas de combate. Por eso la elaboración de un plan escrito detallado es recomendable para cada quema.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los capítulos anteriores, podría considerarse que se ejecuten quemas prescriptas en el área de estudio con el objetivo de disminuir la carga de combustible en áreas serranas y mantener un ciclo de incendios que respeten los regímenes de perturbación naturales de la zona, que no genere alteraciones ecológicas como sí lo hacen eventos como los de los años 2014 y 2018. Esto también favorecería a la recuperación y conservación de especies autóctonas. Por su parte, estas tareas conducirían a evitar erosión aun mayor por incendios de grandes magnitudes, lo cual, como se evidenció previamente, perjudica las propiedades edáficas aún más en relación con las mayores severidades registradas. Benito et al. (2009) demostró que el incremento de la erosión frente a la parcela no quemada fue de 22 veces, mientras que las quemas prescritas - quema de baja intensidad- el incremento frente a las parcelas control fue de 2,5 veces. Por tanto, aunque en ambos casos la cubierta vegetal tras el incendio fue totalmente quemada, los valores de erosión registrados difieren sustancialmente entre la quema prescrita y la quema accidental.

El objetivo final de las quemas prescriptas es distribuir en el tiempo y espacio los sitios incendiados, ocasionando incendios de “baja” severidad en lugares que se podrían registrar peores severidades.

La quema puede ser un método de control eficaz si se aplica con una frecuencia que permita la recuperación de los pastizales pero que inhiba la maduración de los pinos y la liberación de las semillas. En el área de estudio esto podría ser inicialmente entre dos y cinco años, pero se necesita más investigación para evaluar cuidadosamente la relación entre los pastizales naturales, el fuego y las especies invasoras a fin de evaluar una frecuencia óptima de incendios para mantener la resistencia natural del ecosistema (Cuevas & Zalba, 2010). Se espera que los resultados obtenidos en el Capítulo 2 del presente trabajo complementen a la planificación de posibles quemas prescriptas y manejo de las masas boscosas, considerando las severidades registradas y el nuevo establecimiento de pinos en áreas previamente incendiadas.

Educación ambiental

La educación en materia de prevención de incendios trata de inculcar en el ánimo de las personas la idea de no realizar actos de los cuales puedan desarrollarse incendios. Esta puede desarrollarse a través de vías formales y no formales. Es importante que llegue a las personas de todas las edades, sin olvidar los efectos importantes que tiene principalmente sobre los niños.

Se hace uso de todo medio de comunicación masiva posible, como material impreso (folletos, carteles, calcomanías, etc.), mensajes en radio, televisión y cine, así como talleres con paseantes, campesinos, trabajadores en el campo y niños en escuelas (Ramos, 2010). Para ello es necesario crear una cultura de la prevención, la cual debería adquirirse formalmente y promoverse en la escuela desde los primeros años. Para prevenir, primero es necesario conocer cómo funciona el ecosistema y como la sociedad se relaciona con él, en este contexto la Educación Ambiental es el punto de partida.

Por su parte, la divulgación trata de hacer un llamado de atención a las personas sobre determinadas actividades de la vida diaria que pueden dar origen a incendios. Es tal vez el procedimiento más empleado en el desarrollo de acciones de educación ambiental.

Por último, para el ecoturismo, actividad principal desarrollada en el área de estudio, resulta indispensable que el proceso de divulgación llegue a este rubro, concientizando a los visitantes sobre el riesgo que presenta el sitio de sufrir incendios. El ecoturismo puede ser una alternativa para que comunidades que hacen un uso intensivo de los recursos naturales, puedan seguir viviendo de ellos, pero a partir de un uso sustentable.

Dique de retención

Debería considerarse la construcción de un dique de retención de caudales líquidos sobre el curso del Arroyo Ventana que pueda cumplir con el propósito de acumulación de agua a modo de presa con el objetivo de contar con agua disponible para poder combatir incendios, considerando que según las conclusiones de Michalijos & Zapperi (2015), la disponibilidad hídrica en el área de estudio para combatir incendios es exigua. Igualmente, debe tenerse en cuenta la distribución de los recursos hídricos aguas abajo de la Cuenca en estudio, considerando que abarcaría una planificación estratégica a mayor escala.

Asimismo, debería tenerse en cuenta la construcción de diques de retención de materiales sólidos con el objetivo de evitar fenómenos directos de erosión en los cauces y en las laderas marginales afectadas de inestabilidad por la acción erosiva.

2.2. Combate y medidas de mitigación

Mientras ocurren incendios y una vez extintos estos, las medidas a tomar se dividen en el combate mismo del fuego y la implementación de medidas de mitigación, especialmente en momentos posteriores donde queda abierta la “ventana de perturbación”. Siempre deben desarrollarse simultáneamente medidas preventivas.

El combate y extinción del fuego cumple un rol principal para disminuir áreas afectadas y procurar menores severidades de los incendios ocurridos. Es imprescindible contar con personal idóneo, capacitado y que cuente con los recursos apropiados para poder realizar las acciones a tiempo y de manera correcta, procurando siempre por encima de lo demás, cuidar la integridad y seguridad del personal encargado de dichas tareas, como así también de la gente que habita lugares afectados. Todo esto debe estar enmarcado dentro de un Plan Estratégico de operación que debe estar a cargo de Bomberos Voluntarios e instituciones competentes.

Las medidas de mitigación de los efectos de los incendios van orientadas, fundamentalmente, a fijar el suelo del área quemada, como sustrato clave del ecosistema afectado, dificultando su movimiento y frenando en lo posible su degradación, al tiempo que favorecen la regeneración natural, tanto de la vegetación como de la fauna. En esta etapa se plantean otras medidas, como el acotado al pastoreo, por sus conocidos efectos negativos en la primera fase del establecimiento de la regeneración de las especies vegetales y también en el suelo. Junto a ello se trata de proteger otros recursos naturales y/o infraestructuras dentro y fuera del área quemada de los posibles daños causados por un previsible aumento de la escorrentía y erosión que puedan originar crecidas y desbordamientos (Vega Hidalgo, 2016).

Dentro de ese esquema, la evaluación de la severidad del incendio, o nivel de perturbación causado por el fuego en suelo y vegetación, es una etapa crucial del proceso, ya que sus respuestas están fuertemente influenciadas por la distribución espacial de esa variable. Esto es particularmente causante de erosión y escorrentía.

La investigación sobre este tema llevada a cabo en los últimos años ha sido decisiva para cambiar la perspectiva sobre la elección de tratamientos, al mostrar que la cubierta del suelo el factor más importante para controlar la erosión post-incendio en las laderas y, por tanto, los tratamientos de acolchado o mulching han ido ganando aceptación en los últimos años en comparación con otras alternativas menos eficaces (Vega Hidalgo, 2016). Sin embargo, estas medidas dependen exclusivamente de los recursos económicos y humanos con que se cuentan, no considerando que sean completamente aplicables en el área de estudio, aunque sí ideales.

2.3. Otras medidas de restauración

En cuanto a la actividad agraria debería implementarse proyectos de extensión que lleven a la concientización para optar por diferentes medidas para controlar la erosión y manejar el agua. Entre las medidas aplicables se destacan: rotación de cultivo, cultivos en curvas de nivel y/o fajas paralelizadas, manejo de ganadería por rotación, implantación de pasturas, incorporación de bebederos en zonas de pendientes, implantación de cortinas y montes de reparo, forestación en laderas, construcción en terrazas de infiltración y diques de retención y/o consolidación de laderas,

implementación clausuras al pastoreo en sitios sobrepastoreados, tanto para el ganado vacuno, como así también restringir espacios a la presencia de caballos cimarrones.

Las medidas más favorables para el control de la cobertura vegetal en áreas de uso extensivo son el establecimiento de forestaciones y la recuperación y mejora del pastizal natural, debido a que gracias a estas instancias se controla la velocidad de escorrentía y se aminora el caudal de los torrentes, se disminuye la acción de transporte de materiales reduciendo los valores erosivos del suelo, se asegura un mejor sistema radicular lo que mejora la estructura del suelo y por lo tanto la infiltración y percolación y de este modo regula el régimen hídrico general de la cuenca.

CONCLUSIONES GENERALES

En función de los resultados obtenidos en el presente Trabajo Final de Carrera se concluye que se abarcaron aspectos relacionados con incendios ocurridos en la Cuenca del Arroyo Ventana y la erosión hídrica superficial que se desencadena en consecuencia.

En primer lugar, los resultados obtenidos destacan la resiliencia de la vegetación y alientan la adopción de una estrategia de control de la invasión de *Pinus halepensis* y *Pinus radiata* en el PPET y en los ambientes serranos circundantes basada en el conocimiento acerca de los procesos ecológicos de los pastizales naturales y de la biología reproductiva de los pinos.

Con lo mencionado anteriormente, debe tenerse en cuenta los múltiples factores que afectan y juegan en el funcionamiento y dinámica de la cuenca, considerando a los incendios como procesos naturales del sitio pero que han visto modificada su dinámica por la introducción de otras especies al sitio. Resulta un desafío balancear entre los servicios ecosistémicos de protección de cuencas que generan los árboles, pero que a la larga pueden traer efectos de muy difícil reversión en el ecosistema natural.

En cuanto a los eventos estudiados, corresponden a dos incendios que comparten superficies incendiadas, pero severidades diferentes, encontrando mayor proporción de incendios de alta severidad en el evento 2013-2014 que en el evento 2018, debido a mayor superficie forestal incendiada. Se demostró una importante respuesta de la vegetación post incendio mediante la aplicación de índices de vegetación, recuperando valores de NDVI entre los 4 y 10 meses posteriores.

Puede destacarse la ocurrencia de incendios como reguladores de la superficie boscosa, haciendo que en los últimos 10 años la superficie se mantenga estable, pero con diferente distribución espacial. Asimismo, estos incendios son causantes de procesos de regeneración de los pinos, quedando como desafío a futuro monitorear la vegetación en áreas incendiadas con el objetivo de determinar su comportamiento.

Mediante la aplicación del modelo USLE se demostró la vulnerabilidad a la erosión hídrica superficial que presenta la cuenca en estudio. Actualmente, el 58% de la cuenca presenta valores mayores a 50 Mg/ha.año, clasificados como muy altos. Se determinó que la interacción entre factores de pendiente, erodabilidad de suelos y cobertura de suelos determinan valores muy altos de erosión. Asimismo, los diferentes manejos agropecuarios y la ocurrencia de incendios desencadenan procesos aún más erosivos. En contraposición, se evidenció el rol de control de erosión hídrica superficial que genera la cobertura arbórea.

Respecto a lo calculado para incendios, el estado del suelo resulta propenso a que se desencadenen procesos erosivos que aumentan sus valores en el orden los 1.000, 2.000 y hasta 3.000 Mg/ha.año, especialmente en el momento posterior a los eventos, denominado “ventana de perturbación”.

Se ha concluido que incendios en áreas forestales desencadenan una mayor erodabilidad de los suelos afectados que en pastizales, observando mayores severidades, pérdida de materia orgánica y fuerte impermeabilidad de los suelos, aumentando consecuentemente el escurrimiento superficial y la potencial pérdida de suelo ante eventos torrenciales. Si bien este ecosistema sin vegetación arbórea presenta una alta vulnerabilidad luego de los incendios, la ocurrencia de incendios forestales empeora dicha situación. Sería un desafío poder caracterizar si la erosión que

evitan los bosques es mayor que la potencial que puede desencadenarse ante incendios.

En cuanto al quehacer referido al Manejo Integral de la Cuenca Hidrográfica, debe procurarse que todos los actores y factores que influyen en el territorio tengan un rol activo y que las medidas tomadas busquen, de acuerdo con lo estudiado en este trabajo, la conservación de las áreas naturales y el control de los procesos erosivos.

La situación compleja que se ha considerado constituye un desafío de control y conservación en el área de estudio, teniendo en cuenta que la erradicación total de los pinos en el área de estudio es inviable, como así también no puede dejarse la situación librada al azar. Por ello, se requiere una Planificación Estratégica con la cual se aprenda a convivir ecológicamente en una situación que integre eventos de incendios, establecimiento de nuevas áreas boscosas y recuperación de pastizal pampeano. Debe aceptarse que la dinámica natural con la cual se desarrolla el pastizal pampeano se encuentra alterada por la invasión de especies exóticas, y que, si bien la situación que genera el establecimiento de los bosques de pinos no es ecológica ni socialmente aceptada, es indiscutible el carácter benéfico que generan en el suelo y en la protección de cuencas hidrográficas.

El gran objetivo es evitar la ocurrencia de incendios no deseados, factor clave para el desorden ecológico y ambiental que se tiene en cuestión. Quizás las medidas desarrolladas en la actualidad con las propuestas anteriormente puedan llevar por un rumbo mejor.

Por último, los resultados obtenidos en este trabajo alientan a continuar la investigación de la problemática ambiental desarrollada, a seguir actuando en consecuencia y servir como referencia bibliográfica para futuros estudios, buscando como objetivo integral mitigar dos de las problemáticas más importantes: la invasión de especies exóticas y la erosión hídrica superficial, ambos procesos potenciados por la ocurrencia de incendios no deseados y de gran magnitud.

BIBLIOGRAFÍA

Agrositio. 2014. Radio: “Hay 48.000 hectáreas afectadas por los incendios en Bs. As. Imágenes exclusivas”- A. Belardinelli. Disponible en <https://www.agrositio.com.ar/noticia/151810-radio-hay-48000-hectareas-afectadas-por-los-incendios-en-bs-as-imagenes-exclusivas-a-belardinelli>. Último acceso: junio 2020.

Andreau, V., J.L Rubio, J. Fortaleza & R. Cerni. 1996. Postfire effects on soil properties and nutrient losses. *International Journal of Wildland Fire*, pp. 53-58.

Administración de Parque Nacionales. Argentina. Plan de Gestión del Parque Nacional Campos del Tuyú 2018-2023. Resumen Ejecutivo. Disponible en: https://sib.gob.ar/archivos/Resumen_ejecutivo_PN_CamposdelTuyu.pdf . Último acceso: septiembre 2020

Benito, E. & F. Díaz-Fierros. 1989. Estudio de los principales factores que intervienen en la estabilidad estructural de los suelos de Galicia. *Anales de Edafología y Agrobiología* 48, pp. 229-253.

Benito, E., A. Cerda, B. Soto, F. Díaz Fierros, J.L. Rubio, M.E. Varela & M. Rodríguez-Alleres. 2010. Métodos para el estudio de la erosionabilidad del suelo: su aplicación en suelos afectados por incendios forestales. En: Actualización en métodos y técnicas para el estudio de los suelos afectados por incendios forestales, A. Cerda, A. Jordán (eds), Cátedra Divulgación de la Ciencia, Valencia, pp. 85-107.

Benito, E., B. Soto, E. Varela, M. Rodríguez Alleres & J.A. Rodríguez Suárez. 2009. Modificaciones inducidas por los incendios forestales en las propiedades físicas de los suelos del noroeste de España: implicaciones en la respuesta hidrológica y en la erosión hídrica. En: Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles. A. Cerdà y J. Mataix-Solera (Eds.) Cátedra Divulgación de la Ciencia. Valencia. Pp. 305-323.

Bergsma, E., P. Charman, F. Gibbons, H. Hurni, W.C. Moldenhauer & S. Panichapong. 1996. Terminology for Soil Erosion and Conservation. *Internacional Society of Soil Science*. Wageningen, Holanda. 322 pp.

Berón de la Puente, F. J., V. Gil & P. A. Zapperi. 2017. Estimación de la pérdida del suelo por Erosión Hídrica de la Cuenca Alta del Arroyo Napostá Grande, Buenos Aires, Argentina. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur – CONICET.

B Bilenca D. & F. Miñarro. 2004. Identificación de Áreas Valiosas de Pastizal (AVPs) en las Pampas y Campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil. Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires. 353 pp.

Boyeras, M., F.J. Gaspari & B.A. Hauri. 2005. “Estudio y diagnóstico de degradación ambiental por erosión hídrica superficial en el Parque Provincial Ernesto Tornquist”. Tercer Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Versión digital. FAO (1988): Manejo integrado de cuencas hidrográficas en América Latina. Santiago de Chile. FAO-RLAC, 36 pp.

Bran D., G. Cecchi, J. Gaitán, J. Ayesa & C. López. 2007. Efecto de la severidad de quemado sobre la regeneración de la vegetación en el Monte Austral. *Ecología Austral*. Buenos Aires: Asociación Argentina de Ecología, vol. 17, pp. 123-131.

Branatelli G.I.E, M.R. Amodeo, Y.A Cuevas & S.M. Zalba. 2019. Invasive pines in Argentinian grasslands: lessons from control operations. *Biol Invasions* 22, pp. 473–484.

- Burgos, J.** 1968. El clima de la provincia de Buenos Aires en relación con la vegetación natural y el suelo. En: Flora de la Provincia de Buenos Aires. Colección Científica INTA. Ed. Cabrera A. L. Buenos Aires, pp. 33-100.
- Burkart, R., L. Ruiz, C. Daniele, A. Maranta & F. Ardura.** 1991. El Sistema Nacional de Áreas- Naturales Protegidas de la República Argentina, Diagnóstico de su Desarrollo Institucional y Patrimonio Natural. Administración de Parques Nacionales, Buenos Aires 127 pp.
- Cabrera, A.** 1971. Fitogeografía de la República Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. Córdoba: Sociedad Argentina de Botánica, vol. XIV, n° 1 -2, pp. 1- 42.
- Campo Velásquez, M.J.** 2012. Efectos de incendios experimentales repetidos en la agregación del suelo y su evolución temporal. Tesis. Centro de Investigaciones Sobre Desertificación. Universidad de Valencia, Valencia, España. 683 pp.
- Caon, L., V. R. Vallejo, C.J. Ritsema & V. Geissen.** 2014. Effects of wildfire on soil nutrients in Mediterranean ecosystems. Earth-Science Reviews, 139, pp. 47-58.
- Chandler, C., P. Cheney, P. Thomas, L. Trabaud & D. Williams.** 1983. Fire in Forestry. Vol.II. Forest Fire Management and Organization. John Wiley & Sons. New York.298 p.
- Código Baires.** 2014. Aseguran que el incendio en Sierra de la Ventana está controlado. Disponible en: <https://codigobaires.com.ar/nota/34148/aseguran-que-el-incendio-en-sierra-de-la-ventana-esta-controlado>. Último acceso: junio 2020.
- Cuevas, Y.A.** 2005. Plan de manejo de *Pinus halepensis* en el Parque Provincial Ernesto Tornquist (Buenos Aires). Tesis. Maestría en Manejo de Vida Silvestre. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina. 84 pp.
- Cuevas, Y.A.** 2011. Claves ecológicas para la restauración de un pastizal natural invadido por *Pinus halepensis*. Tesis Doctoral en Biología. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. 109 pp.
- Cuevas Y.A. & S.M. Zalba.** 2009. Control de pinos invasores en el Parque Provincial Ernesto Tornquist (Bs As): áreas prioritarias y análisis de costos. BioScriba 2:76–89
- Cuevas YA & SM Zalba.** 2004. Banco de semillas de *Pinus halepensis*, una especie invasora del pastizal pampeano. En Libro de Resúmenes Segundo Encuentro Binacional de Ecología. Mendoza, Argentina: 251 pp.
- Cuevas Y.A. & S.M. Zalba.** 2010. Recovery of native grasslands after removing invasive pines. Restor 18: 711-719.
- Cuevas Y.A. & S.M. Zalba.** 2013. Efecto del tipo de corte y de tratamientos en el mantillo para la restauración de pastizales naturales invadidos por *Pinus halepensis*. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica. 48 (2): 315-329
- Díaz Gómez, A.R. & F.J. Gaspari.** 2017. Modelización geoespacial del escurrimiento superficial en cuencas vulnerables al cambio de uso del suelo. Revista CINEA. Volumen 5 N° 1: pp. 29-47.
- Díaz-Fierros, F., E. Benito & B. Soto.** 1994. Action of forest fires on vegetation cover and soil erodibility. En: Soil erosion and degradation as a consequence of forest fires (M. Sala y J.L. Rubio, eds.). Geoforma Ediciones, Logroño, pp. 163-176.
- Díaz-Delgado, R., F. Lloret & X. Pons.** 2004. Spatial patterns of the occurrence in Catalonia, NE, Spain. Landscape Ecology 19: 731–745

Díaz-Delgado, R., J. Ruíz-Ramos. 2019. La Teledetección en la Caracterización del Régimen de Incendios y de los Efectos Sobre la Vegetación. En: Ecología de la Regeneración de Zonas Incendiadas (García Novo, Francisco; Casal, Mercedes and Pausas, Juli G. eds.), Academia de Ciencias Sociales y del Medio Ambiente de Andalucía - ACSYMA, Sevilla, pp. 131–146.

Equipo SIG AER Tornquist. 2018. Focos de Incendio área de influencia Bomberos Voluntarios de la localidad de Tornquist – Registro histórico 2015-2018. Estación Experimental Agropecuaria Bordenave. INTA.

FAO. 2006. Comunicación, divulgación y manejo de información forestal. Proyecto PCT/NIC/310 – FAO. Informe realizado por Marcos Pedro Ramos Rodríguez, Consultor.

FAO-PNUMA-UNESCO. 1980. Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo de la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 79pp.

Fernández Méndez, F., V. Velasco Salcedo, J. Guerrero Contecha, M. Galvis & A. Viana Neris. 2016. “Recuperación ecológica de áreas afectadas por un incendio forestal en la microcuenca Tintales (Boyacá, Colombia)”. Colombia Forestal. Bogotá: Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, U. Distrital F.J. de Caldas, vol. 19, n° 2, pp. 143-160.

Fernández, F. C. & J.Vega. 2011. Erosión después de incendios forestales. Centro de Investigación Forestal-Lourizán. Consellería do Medio Rural. Xunta de Galicia. Apdo. 127. 36080. Pontevedra.

Fernández, L. M. 2010. Biología reproductiva de *Pinus radiata*, una especie exótica invasora en el Parque Provincial Ernesto Tornquist. GEKKO - Grupo de Estudios en Conservación y Manejo Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia. Departamento de Biología Bioquímica y Farmacia. Universidad Nacional del Sur. 42 pp.

Fiori, S., A. Scorolli & S.M. Zalba. 1997. Plan de Manejo Parque Provincial Ernesto Tornquist. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur, Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia, 80 pp. (Inédito).

Frangi, J. & O. Bottino. 1995. Las comunidades vegetales de la Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata. La Plata: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestal, UNLP, t. 71, pp. 93-133.

García Martínez, B., V. Gil, M.E. Carbone & C. Posada Simeón. 2016. Caracterización del patrón hidromorfológico del Arroyo de la Ventana en su tramo medio alto (Buenos Aires, Argentina); Consejo Superior de Investigaciones Científicas; Estudios Geográficos; 77; 521-541.

Gaspari, F.J. 2000. Plan de Ordenamiento Territorial en cuencas serranas degradadas utilizando Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.). Tesis de maestría. Universidad Internacional de Andalucía Sede Iberoamericana de la Rábida. Huelva. España. 147 pp.

Gaspari, F. J. 2002. Ordenamiento Territorial en Cuencas Serranas. Aplicación de SIG. Ed. Cooperativas, Buenos Aires .116 pp.

Gaspari, F. J., J. Bruno, R. Rickfelder, B. Hauri, I. Cornely, C. Oroná & M. Leonart. 2006. Manejo integral de cuencas hidrográficas serranas del Partido de Tornquist. Buenos Aires. Ed., 135 pp.

Gaspari, F. J., M.I. Delgado & G.A. Denegri. 2009. Estimación espacial, temporal y económica de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Terra Latinoamericana.

Gaspari, F. J., M.I. Delgado & G.E. Senisterra. 2009. Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense. Argentina, GeoFocus (Artículos), nº9, pp. 67-82.

Gaspari, F.J., G.E. Senisterra, M.I. Delgado, A. Rodríguez Vagaría & S. Besteiro. 2009. Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. 1ª Edición. La Plata. 321 pp.

Gaspari, F.J.; Senisterra, G.E.; Rodríguez Vagaría, A.; Delgado, M.I. y S. Besteiro. 2011. Simulación espacio – temporal del escurrimiento directo en la cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande. Revista de Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. ASAGAI. Vol 27. ISSN 1851-7838.

Gaspari, F.J., G.E. Senisterra, M.I. Delgado, A. Rodríguez Vagaría & S. Besteiro. 2013. Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. 1a ed. - La Plata: Universidad Nacional de La Plata. 191pp.

Gaspari, F., G. Senisterra, G., Delgado, M.I., Denegri, G.A.; Rodríguez Vagaría, A. & R. Díaz Gómez. 2016. Valoración de servicios ambientales para el ordenamiento agrohidrológico en cuencas hidrográficas. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. 137 p. La Plata. Argentina. SEDICI. ISBN 978-950-34-1324-1. Versión digital. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/52722>.

Gaspari, F.J., A. Rodríguez Vagaría & F.A. Montealegre Media. 2018. Herramientas de sistemas de información geográfica aplicadas al manejo de cuencas hidrográficas. Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. 111 pp.

Gaspari, F.J., L. de Antueno, A. Guzmán Guaraca, G. Senisterra, F.A. Montealegre Medina & A.R. Díaz Gómez. 2019. Modelización hidrológica en la cuenca alta del Arroyo Sauce Chico, Buenos Aires, Argentina. I Congreso Latinoamericano y V Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas 2019 (CMCH-2019). Ciudad de México, México. http://remexcu.org/cmch-2019/images/docs/Programa_CMCH-2019_V5.pdf

Gómez Orea, D. 2008. Ordenación territorial. Mundi Prensa S.A, Madrid. 118 pp.

Haltenhoff, H. 1998. Silvicultura Preventiva. Manual Técnico N°18. Corporación Nacional Forestal. Chile. 29pp.

Harrington, H. 1947. Explicación de las hojas geológicas 33m y 34m, Sierras de Curamalal y de la Ventana, provincia de Buenos Aires. Buenos Aires: Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 61, 43 pp.

Henríquez, C., G. Azocar & M. Aguayo. 2006. Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. Rev.Geogr. Norte Grande., Santiago de Chile, n.36.

Humboldt State University GPS 216 Introduction to remote sensing. 2019. Normalized Burn Ratio. Disponible en http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson5-1/NBR.html. Último acceso: junio 2020.

Hunt Jr., E. R. & B. N. Rock. 1989. Detection of changes in leaf water content using Near-and Middle Infrared reflectances. Remote Sensing of Environment, pp. 43-54.

Instituto Geográfico Militar. 1970. Carta Topográfica de Tornquist (Hoja 3963-5-2) y de Estancia Gran Chaco (Hoja 3763-35-4). Esc 1:50.000.

Irurtia, C., G. Cruzate. & F.J. Gaspari. 2007. Guía de divulgación técnica. Aplicación de la USLE en la provincia de Buenos Aires para establecer tasas de erosión hídrica. INTA-UNLP. 25 pp.

Jiménez Ruano, A., F. Pérez Cabello & R. Montorio Llovería. 2016. "Niveles de LAI/FPAR en superficies afectadas por incendios forestales en Aragón. Análisis mediante el producto MCD15A2 de MODIS". Pirineos. Madrid: Instituto pirenaico de Ecología, vol 171, pp. 1-13

Kristensen, J., & J.L. Frangi. 1995a. "Mesoclimas de pastizales de la Sierra de la Ventana". Ecología Austral. 5: 5-64.

Kristensen, J., & J.L. Frangi. 1995b. "La Sierra de la Ventana: una isla de biodiversidad". Ciencia Hoy. 5(30):25-34.

La Nación. 2018. Los incendios en Sierra de la Ventana ya consumieron más de 10 mil hectáreas de pastizales y forrajes. Crédito: Mauro V. Rizzi. Disponible en: <https://www.lanacion.com.ar/sociedad/los-incendios-en-sierra-de-la-ventana-ya-consumieron-mas-de-4000-hectareas-de-pastizales-y-forrajes-nid2106001>. Último acceso: Junio 2020.

La Nueva. 2008. Empezó la reconstrucción en el Abra de la Ventana. Disponible en: <https://www.lanueva.com/nota/2008-2-3-10-0-0-empezo-la-reconstruccion-en-el-abra-de-la-ventana>. Último acceso: Junio 2020.

La Nueva. 2018. Desde el aire: así se ve el incendio en Sierra de la Ventana. Martín Hagg. Disponible en: <https://www.lanueva.com/nota/2018-2-1-11-7-0-desde-el-aire-asi-se-ve-el-incendio-en-sierra-de-la-ventana>. Último acceso: Junio 2020.

La Voz del Pueblo. 2018. Incendio en las sierras: el fuego cruzó la ruta 76 y va hacia el Parque Tornquist. Disponible en: <https://lavozdelpueblo.com.ar/noticia/70288-Incendio%20en%20las%20sierras:%20el%20fuego%20cruz%C3%B3%20la%20ruta%2076%20y%20va%20hacia%20el%20Parque%20Tornquist>. Último acceso: junio 2020.

Lizzi, J., F. Martin, R. Golluscio & A. Deregibus. 2007. "Mapeo indirecto de la vegetación de Sierra de la Ventana, provincia de Buenos Aires". Ecología Austral

Lloret, F., & P.H. Zedler. 2009. The effect of forest fire on vegetation. Fire effects on soils and restoration strategies, pp. 257-295.

Long, M.A. 2018. Especies comunes y raras en la flora de las Sierras Australes Bonaerenses: causas históricas, ecológicas y ambientales. Parte I. Tesis de Doctora en Biología. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. 381 pp.

López Cadenas de Llano, F. 1998. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Editorial TRAGSA, Madrid. 945 pp.

López-Falcon, R. 2002. Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación. Serie Suelos y Clima SC-75. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Martin, M.P. & E. Chuvieco. 2001. Propuesta de un nuevo índice para cartografía de áreas quemadas: aplicación a imágenes NOAAVHRR y Landsat-TM. *Revista de Teledetección*, N° 16, pp. 57-64.

Martínez Ruiz, E. 2001. Manual de quemas controladas: El manejo del fuego en la prevención de incendios forestales. TRAGSA. Ediciones Mundi-Prensa. España. 175 p

- Michalijos M. P.** 2018. Estudio del riesgo de incendio forestal en un sector de la comarca de la sierra de la ventana utilizando geotecnologías. Tesis de doctorado en geografía. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina. 245pp
- Michalijos, M.P. & J. Uboldi.** 2013. Propuesta metodológica para la evaluación de áreas afectadas por incendios mediante el uso de imágenes satelitales (Sierra de la Ventana, Argentina). *Revista Norte Grande*. Santiago: Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, n° 56, pp. 223-234.
- Michalijos, M.P. & P.A. Zapperi.** 2015. Análisis morfométrico aplicado a la caracterización de redes fluviales para la gestión de peligro de incendios forestales. *Revista del Depto Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Año XIV, N°15*, pp. 53-70.
- Michalijos, M.P., A. Geraldí, A. Guerrero & S.M. Visciarelli.** 2013. Multidimensionalidad de los procesos dinamizadores del territorio. Estudio de caso: Villa Serrana La Gruta, Partido de Tornquist, Pcia de Buenos Aires. En: 2013. IV Congreso Nacional de Geografía de Universidades Públicas y XI Jornadas Cuyanas de Geografía. Mendoza: UNCuyo, pp.1-13.
- Mintegui Aguirre, J. A.** 1988. Análisis de la influencia del relieve en la erosión hídrica. Hipótesis de estudio para correlacionar la pendiente con la longitud del declive en un terreno. V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Madrid. pp: 2229-2245.
- Mintegui Aguirre, J. A. & F. López Unzu.** 1990. La Ordenación Agrohídrológica en la Planificación. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 308 pp. Madrid.
- Mintegui Aguirre, J. A., J.C. Robredo Sánchez & P.J. Sendra Arce.** 2003. Avenidas torrenciales en el Arroyo del Partido y su incidencia en la Marisma del Parque Nacional Doñana. Ed. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid. 377 pp.
- Morgan, R.P.C.** 1997. Erosión y conservación del suelo. Mundi-Prensa, Madrid, España. 343 pp.
- Municipalidad de Tornquist.** 2002. Plan de ordenamiento territorial de la Comarca de la Sierra de la Ventana, partido de Tornquist. Buenos Aires. La Plata: Editorial Universitaria de La Plata, 167 pp.
- Oh!Lapdrida.** 2018. Foto y videos: la lluvia dejó un espectacular paisaje en Sierra de La Ventana. Fotos: Walter Fernando Méndez. Disponible en: <https://www.ohlapdrida.com.ar/2018/02/fotos-y-videos-la-lluvia-dejo-un-espectacular-paisaje-en-sierra-de-la-ventana/>. Último acceso: junio 2020.
- Pacheco, H., A. Marcano & C. Scarlet.** 2014. Cálculo del factor C de la USLE, en la cuenca del río Carache, TrujilloVenezuela usando imágenes del Satélite Miranda VRSS-1. XVI Simposio Internacional Selper 2014. La Geoinformación al Servicio de la Sociedad. Medellín, Colombia.
- Panizza, M. C.** 2016. Estudio de las presentaciones gráficas de la Región Pampeana desde un enfoque semiótico, El caso de las pinturas rupestres del Sistema Serrano de Ventania y su comparación con otros elementos iconográficos". Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata, 350 pp.
- Pereira, J. M. C., E. Chuvieco, A. Beudoin & N. Desbois.** 1997. Remote Sensing of burned areas: A review. En: A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires. Ed. E Chuvieco, Alcalá de Henares, Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá. pp.: 127-184.
- Pinilla Ruiz, C.** 1995. Elementos de Teledetección. Madrid: RA-MA. 313pp.

- Potter, B.E.** 1996. Atmospheric Properties Associated with Large Wildfires. *Int. J. Wildland Fire*. No. 6, Vol. 2. U.S.A. 71 - 76 pp.
- Pritchett, W. L.** 1991. Suelos Forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. Ed, Limusa, S. A. Mexico. DF. 634 pp.
- Prosser, I.P. & L. Williams.** 1998. The effect of wildfire on runoff and erosion in native Eucalyptus forest. *Hydrol. Process.*, 12: 251-265.
- Quignard, I., W.F. Sione, P.G. Aceñolaza & L.P. Zamboni.** 2017. Aplicación de Índices de Área Quemada en la Cuenca del Río Gualeguay, Entre Ríos. En: SELPER 2016: Geotecnologías, herramientas para la construcción de una nueva visión del cambio global y su transformación para un futuro sostenible. Editorial Unlu, Luján, Buenos Aires, pp. 2499 – 2508.
- Rábade Blanco, J. M.** 2006. La ordenación agrohidrológica de cuencas como herramienta en la planificación de la lucha contra la desertificación y el despoblamiento del medio rural www.sidym2006.com/imagenes/pdf/ponencias/17_se.pdf
- Ramos Rodríguez, M.P.** 2010. Manejo del Fuego. Ed. Félix Varela. La Habana, Cuba. 277 pp.
- Rodríguez-Alleres M., E. Benito & E. de Blas.** 2005. Implicaciones de la repelencia al agua del suelo en la generación de escorrentía y en la erosión en un área quemada del NW de España. En: Estudios de la Zona No Saturada del Suelo, F.J. Samper Calvete, A. Paz González (eds), Vol. VII, pp. 165-168.
- Rodríguez-Alleres, M., M.E. Varela & E. Benito.** 2012. Natural severity of water repellency in pine forest soils from NW Spain and influence of wildfire severity on its persistence. *Geoderma*, 191, 125–131.
- Sandoval, V & V. Oyarzun.** 2003. Modelamiento y prognosis espacial del cambio en el uso del suelo. Quebracho. 11. Santiago del Estero. Argentina. 9-21 pp.
- Sanhueza, C. & S.M. Zalba.** 2009. Invasión de retama (*Spartium junceum*) en las Sierras Australes Bonaerenses: investigación, acción y manejo. En: CAZZANIGA, N. y ARELOVICH, H. (Coord.). 2009. Ambientes y recursos naturales del sudoeste bonaerense: producción, contaminación y conservación. Actas de las V Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense, Bahía Blanca: UNS, vol. 5, pp. 303-314.
- Sellés Martínez, J.** 2001. “Geología de la Ventania (Provincia de Buenos Aires, Argentina)”. *Journal of Iberian Geology*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid vol. 27, pp. 43-69.
- Shakesby, R. A.** 2011. Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: review and future research directions. *EarthScience Reviews*, 105(3), pp. 71-100.
- Soil and Water Conservation Society (SWCS).** 1995. *RUSLE, User Guide, Version 1.04*. Iowa, Estados Unidos.
- Soil Conservation Service (SCS).** 1964. Hydrology. Part I. Watershed Planning. S.C.S. National Engineering Handbook. Section 4. U.S. Department of Agriculture. Washington. 33 pp.
- Suero, T.** 1972. Compilación geológica de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires. Ministerio de Obras Públicas, LEMIT, División Geología. Anales 3: pp. 135-147.

TN y la gente. 2014. Incendio en Sierra de la Ventana, partido de Tornquist. Nicolás Barrio. Disponible en: https://tn.com.ar/tnylagente/noticias/incendio-en-sierra-de-la-ventana-partido-de-tornquist_435142. Último acceso: junio 2020.

Ulibarry, P.G. 2007. Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna. Departamento de estudios, extensión y publicaciones. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile / BCN.

URBANA 102.7 RADIO. 2014. Aquí comenzó el incendio. Disponible en: <http://www.radiourbana102.com.ar/2014/01/03/aqui-comenzo-el-incendio/>. Último acceso: junio 2020.

Van Lynden, G.W.J. & L.R. Oldeman. 1997. The assessment of the human-induced soil degradation in South and Southeast Asia. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, The etherlands.

Vázquez, P. & L. Zulaica. 2011. Cambios en el uso de la tierra del partido de Tandil y principales impactos ambientales. Revista Párrafos geográficos, Vol 10, N° 2. pp. 242-267.

Vega Hidalgo, J.A. 2016. Prioridades de restauración de áreas forestales quemadas. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales. III Reunión conjunta del Grupo de Trabajo de Repoblaciones Forestales (SECF) y el Grupo de Trabajo de Restauración Forestal (AEET).

Vélez, R. 2000. Selvicultura preventiva. En: La Defensa Contra Incendios Forestales. Fundamentos y Experiencias. McGraw – Hill. España. 14.1 – 14.18. pp.

Villalobos, A.E. 2009. Invasión de *Pinus halepensis Mill.* en el Parque Ernesto Tornquist en relación con el pastoreo de caballos cimarrones. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Buenos Aires. 137 pp.

Wischmeier, W.H. & D.D. Smith. 1965 Prediction Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains: A Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation. Agricultural Handbook, No. 282, 47 p.

Wischmeier W.H. & D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning Agriculture Handbook No 537. US Department of Agriculture, Washington, D.C.EE.UU.

Zalba, S.M. 1994. Árboles exóticos en reservas naturales: ¿Enriquecimiento del paisaje o amenaza contra la diversidad? El caso del Parque Provincial E. Tornquist (Buenos Aires, Argentina). VI Congreso Latinoamericano de Botánica. Mar del Plata.

Zalba, S. M. & N. Cazzaniga. 2002. Forestación en el Parque Provincial Ernesto Tornquist cuando los árboles son un problema. En: Vaquero, M. C. (comp.). 2002 territorio, Economía y Medio Ambiente en el Sudoeste Bonaerense. Bahía Blanca: UNS, pp. 503-516.