

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA Y TURISMO

TESIS DE LICENCIATURA EN GEOGRAFÍA

**“Propuesta de análisis espacial para la
determinación de riesgo ambiental en la cuenca del
arroyo Claromecó”**

Tesista: Arias Johanna

Director/a: Geraldi Alejandra Mabel

Co-Director/a: Barragán Federico Gastón

BAHÍA BLANCA, 2021

Agradecimientos

A mis directores Alejandra y Federico por guiarme y acompañarme en mucho más que en una tesis.

A mí familia, principalmente a mis padres, por apoyarme aun cuando los pasos fueron más cortos que firmes. A mi hermana por escucharme durante mis altibajos y mis crisis existenciales.

A los integrantes del Laboratorio de Geotecnologías por ser compañeros de debates y nuevos desafíos.

A todos aquellos que han aportado conocimientos y enseñanzas no solo durante esta tesis, sino a lo largo de toda mi vida universitaria.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: Introducción.....	1
1.1. Localización y caracterización del área de estudio	2
1.2. Planteamiento del problema	5
Hipótesis	5
Objetivos	5
CAPÍTULO 2: Marco Teórico – Conceptual	7
2.1. Geografía automatizada y geotecnologías	8
2.2. El análisis espacial y los modelos geográficos	9
2.3. Geografía del riesgo.....	11
Cartografía del riesgo	15
Gestión del riesgo	15
CAPÍTULO 3: Metodología.....	17
3.1. Metodología para el estudio del riesgo ambiental	17
3.1.1. Determinación de las variables para identificar el peligro	21
3.1.1.1. Peligro de anegamiento	21
3.1.1.2. Peligro de sequía	29
3.1.1.3. Peligro de incendio.....	36
3.1.1.4. Peligro de erosión costera.....	44
3.1.2. Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad.....	53
CAPÍTULO 4: Determinación del peligro asociado a los fenómenos identificados.....	58
4.1. Diagnóstico y análisis del grado de peligro de anegamiento	58
4.2. Evaluación de grado de peligro de sequía	67
4.3. Incidencia del peligro de incendio.....	73
4.4. Estimación del peligro de erosión costera	76
4.5. Evaluación de los niveles de peligro ambiental	81
CAPÍTULO 5: Identificación de los sistemas expuestos y su vulnerabilidad.....	82
CAPÍTULO 6: Evaluación de los niveles de riesgo ambiental	84
CONCLUSIONES.....	87
BIBLIOGRAFÍA.....	90

Índice de Figuras

Figura 1: Cuenca del arroyo Claromecó

Figura 2: Metodología para el estudio del riesgo ambiental

Figura 3: Esquema metodológico del peligro de anegamiento

Figura 4: Modelo digital de elevación

Figura 5: Esquema metodológico del peligro de sequía

Figura 6: Clasificación del PDSI

Figura 7: Esquema metodológico del peligro de incendio

Figura 8: Esquema metodológico del peligro de erosión costera

Figura 9: Peligro de anegamiento

Figura 10: Precipitación máxima

Figura 11: Peligro de anegamiento asociado a la frecuencia

Figura 12: Indicadores de la variable “pendiente”

Figura 13: Peligro de anegamiento asociado a la topografía

Figura 14: Peligro de anegamiento asociado al drenaje de suelo

Figura 15: Indicadores del subfactor “elementos meteorológicos”

Figura 16: Peligro de anegamiento asociado a los elementos meteorológicos

Figura 17: Peligro de anegamiento asociado a la cobertura del suelo

Figura 18: Peligro de sequía

Figura 19: Peligro de sequía asociado a la ocurrencia histórica

Figura 20: Peligro de sequía asociado a la textura del suelo

Figura 21: Peligro de sequía a la pérdida de lluvia

Figura 22: Peligro de sequía asociado al estrés hídrico de la vegetación

Figura 23: Peligro de sequía asociado al contenido de agua de la vegetación

Figura 24: Peligro de incendio

Figura 25: Peligro de incendio asociado a la vegetación

Figura 26: Peligro de incendio asociado al factor humano

Figura 27: Peligro de incendio asociado a los elementos meteorológicos

Figura 28: Peligro de erosión costera

Figura 29: Peligro de erosión costera asociado al ancho de playa

Figura 30: Peligro de erosión costera asociado al tipo de playa

Figura 31: Peligro de erosión costera a la tasa de erosión

Figura 32: Peligro ambiental

Figura 33: Indicadores de vulnerabilidad

Figura 34: Vulnerabilidad ambiental

Figura 35: Riesgo ambiental de la cuenca del arroyo Claromecó

Figura 36: Riesgo de anegamiento

Figura 37: Riesgo de sequía

Figura 38: Riesgo de incendios

Figura 39: Riesgo de erosión costera

Índice de Tablas

Tabla I: Modelo de riesgo ambiental

Tabla II: Clasificación de la variable “frecuencia de anegamiento”

Tabla III: Clasificación de la variable “orientación del terreno”

Tabla IV: Clasificación de la variable “pendiente”

Tabla V: Clasificación de la variable “drenaje del suelo”

Tabla VI: Clasificación de la variable “cobertura del suelo”

Tabla VII: Clasificación de la variable “ocurrencia histórica”

Tabla VIII: Clasificación de la variable “textura del suelo”

Tabla IX: Clasificación de la variable “pendiente”

Tabla X: Clasificación de la variable “estrés hídrico de la vegetación”

Tabla XI: Clasificación de la variable “contenido de agua en la vegetación”

Tabla XII: Clasificación de la variable “actividad fotosintética”

Tabla XIII: Clasificación de la variable “camino”

Tabla XIV: Clasificación de la variable “vías férreas”

Tabla XV: Clasificación de la variable “red eléctrica”

Tabla XVI: Clasificación de la variable “temperatura”

Tabla XVII: Clasificación de la variable “velocidad del viento”

Tabla XVIII: Clasificación de la variable “precipitación”

Tabla XIX: Clasificación de la variable “ancho de playa”

Tabla XX: Clasificación de la variable “geomorfología”

Tabla XXI: Clasificación de la variable “pendiente”

Tabla XXII: Clasificación de la variable “grado de exposición al oleaje”

Tabla XXIII: Clasificación de la variable “estado morfodinámico”

Tabla XXIV: Clasificación de la variable “presencia de rasgos geomorfológicos”

Tabla XXV: Clasificación de la variable “rango mareal”

Tabla XXVI: Clasificación de la variable “altura de ola”

Tabla XXVII: Clasificación de la variable “tasa de erosión”

Tabla XXVIII: Clasificación de la variable “vulnerabilidad al anegamiento”

Tabla XXIX: Clasificación de la variable “vulnerabilidad a la sequía”

Tabla XXX: Clasificación de la variable “vulnerabilidad al incendio”

Tabla XXXI: Clasificación de la variable “vulnerabilidad a la erosión costera”

RESUMEN

La presente tesis de grado, denominada “Propuesta de análisis espacial para la determinación de riesgo ambiental en la cuenca del arroyo Claromecó”, pretende estudiar el comportamiento ambiental de la cuenca del arroyo Claromecó y proponer un modelo geográfico orientado a la planificación para la mitigación de riesgos.

Esta investigación presenta cinco objetivos específicos que buscan identificar los factores naturales y antropogénicos que estructuran la organización espacial de la cuenca, mediante la construcción de indicadores y el estudio de su comportamiento, construyendo una base de datos geográfica que posibilite la integración de la información, para finalmente proponer un modelo de riesgo ambiental.

Para ello se identificó el riesgo ambiental a partir de la construcción de un índice basado en la teoría social del riesgo. El modelo de riesgo se estructura en cuatro niveles jerárquicos: índices, subíndices, subfactores e indicadores. En cada uno de los niveles fueron utilizados métodos específicos, en función del objetivo y la revisión bibliográfica que se desarrolló a lo largo de la tesis. Para generar un análisis integrado de cada variable, se aplica una escala común de valores a cada componente del modelo mediante álgebra de mapas y reclasificación.

La cuenca hidrográfica del arroyo Claromecó, se localiza en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, República Argentina. Está conformada por los municipios de Tres Arroyos y Adolfo Gonzales Chaves. La cuenca de drenaje es de tamaño intermedio, con una forma alargada y lobular. Se localiza en la gran faja zonal de los climas templados. Con respecto a las actividades económicas predominan las agropecuarias y el turismo.

El riesgo ambiental en la cuenca del arroyo Claromecó, en general, es entre moderado y bajo. De la desagregación de los factores se afirma que los riesgos asociados a los periodos húmedos y secos, como lo son la sequía y el anegamiento son los de mayor importancia. Esto se debe a una mayor probabilidad de ocurrencia de los fenómenos asociados a los excesos o déficit hídricos, propio de una cuenca de llanura con escasa topografía y con un régimen hídrico subhúmedo seco, y a la existencia de una población vulnerable concentrada en pocos centros urbanos y dependientes de las actividades agropecuarias.

Palabras claves: riesgo ambiental, análisis espacial, teoría social del riesgo, cuenca del arroyo Claromecó, modelo geográfico

ABSTRACT

This degree thesis, called "Proposal for spatial analysis for the determination of environmental risk in the Claromecó stream basin", aims to study the environmental behavior of the Claromecó stream basin and propose a geographic model oriented to mitigation planning risk.

This research presents five specific objectives that seek to identify the natural and anthropogenic factors that structure the spatial organization of the basin, through the construction of indicators and the study of their behavior, building a geographic database that enables the integration of information, to finally propose an environmental risk model.

For this, environmental risk was identified from the construction of an index based on the social theory of risk. The risk model is structured in four hierarchical levels: indices, sub-indices, factors, sub-factors, and indicators. At each of the levels, specific methods were used, depending on the objective and the bibliographic review that was developed throughout the thesis. To generate an integrated analysis of each variable, a common scale of values is applied to each component of the model using the weighted overlay and reclassification method.

The watershed of the Claromecó stream is located in the southeast of the province of Buenos Aires, Argentina. It is made up of the municipalities of Tres Arroyos and Adolfo Gonzales Chaves. The drainage basin is intermediate in size, with an elongated, lobular shape. It is located in the great zone of temperate climates. With regard to economic activities, agriculture and tourism predominate.

The environmental risk in the Claromecó stream basin, in general, is between moderate and low. From the breakdown of the factors, it is stated that the risks associated with wet and dry periods, such as drought and waterlogging, are the most important. This is due to a greater probability of occurrence of phenomena associated with water excesses or deficits, typical of a plain basin with little topography and a dry sub-humid water regime, and the existence of a vulnerable population concentrated in few urban centers and dependent on agricultural activities.

Keywords: environmental risk, spatial analysis, social theory of risk, Claromecó stream basin, geographic model

CAPÍTULO 1: Introducción

El concepto de riesgo “ha ido evolucionando progresivamente desde la Grecia Clásica [...] pero ha sido a partir de los tres últimos siglos cuando ha recibido un significativo avance en su conceptualización” (Vías, 2005). En el contexto mundial, así como en el latinoamericano, el riesgo y la vulnerabilidad han logrado posicionarse como conceptos claves de la discusión científica, política y social sobre las problemáticas actuales y futuras que atraviesan las sociedades.

En los últimos años, ha comenzado a posicionarse el conocimiento integral y aplicado que surge a partir de la necesidad de explicar y entender el desastre con la integración de los conocimientos físicos, naturales y humanos de las disciplinas. Brinda un conocimiento con intereses técnicos, prácticos y políticos con propósitos de planeación (Martínez Rubiano, 2015). Es dentro de esta tendencia donde la Geografía tiene cada vez más participación.

Los desastres pueden ser originados por fenómenos naturales o provocados por el hombre. Cuando un “fenómeno natural irrumpe lo habitual y ocasiona daños extraordinarios en la población (consecuencias sociales, económicas y políticas) [...] se habla en términos de catástrofe” (Rosell, 2015). En ese sentido, “conocer el nivel de impacto de la inundación sobre los diversos elementos distribuidos en el territorio ayuda a analizar, a tomar decisiones y a desarrollar medidas de gestión...” (Morales, 2008). Los contextos actuales en los que se desarrollan estos conceptos, se encuentran dominados por una orientación ecologista, determinada por amenazas naturales, potenciales causas y consecuencias de las crisis ambientales, aumento de la degradación del espacio urbano y las consecuencias del cambio climático. Esta visión del riesgo genera una mayor atención a los eventos que afectan extensas regiones o países, mientras aquellos que perturban a un territorio mucho menor parecieran carecer de importancia.

El riesgo es la anticipación a un acontecimiento futuro que puede ser medido o catalogado desde el punto de vista teórico o potencial pero nunca aplicado, ya que se estaría estudiando un siniestro. Mediante modelos geográficos, se pueden diseñar medidas preventivas y de gestión frente al riesgo.

Los modelos geográficos constituyen valiosas herramientas para el análisis espacial integrado que permiten estudiar la dinámica ambiental de una cuenca. Para la construcción de un modelo geográfico, es indispensable estudiar y conocer el funcionamiento temporal y espacial del sistema natural y antrópico de forma integrada, construido mediante indicadores

que permitan medir los factores que componen el modelo. Si bien, existen investigaciones en el área de estudio, los mismos carecen de integración de las diferentes variables que estructuran el territorio y en las que se utilicen las Tecnologías de la Información Geográfica.

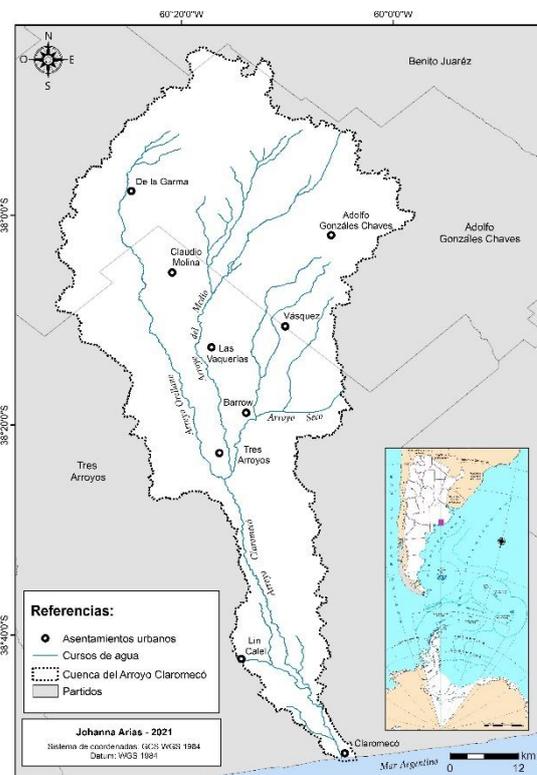
1.1. Localización y caracterización del área de estudio

La cuenca hidrográfica del arroyo Claromecó ($37^{\circ}42'S$, $59^{\circ}57'O$; $38^{\circ}54'S$, $60^{\circ}33'O$), se localiza en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, República Argentina (Fig. 1). Está situada en el centro de la “unidad morfoestructural denominado Positivo Bonaerense o Alto de Tandil, unidad compuesta por las Sierras Septentrionales (Tandilia), las Sierras Australes (Ventania) y la llanura interserrana que coincide, aproximadamente, con la cuenca paleozoica de Claromecó” (Sosa, Zarate y Beilinson, 2017). Se trata de un arroyo de llanura, con dirección predominantemente Norte – Sur, conformado por la confluencia de tres cursos de agua: Orellano o Primer Brazo, Medio o Segundo Brazo y Seco o Tercer Brazo, los cuales se unen aguas debajo de la ciudad de Tres Arroyos, para finalmente desembocar en la costa atlántica unos 130 km al SSE (Sosa et al., 2017).

La cuenca de drenaje es de tamaño intermedio, con una superficie de 3.017,18 km² y un perímetro de 285 kilómetros, presenta una forma alargada y lobular (Carbone y Piccolo, 2002). La red de drenaje presenta un diseño dendrítico, a excepción del sector norte que presenta un diseño anárquico (Carbone y Piccolo, 2002). En cuanto a los cursos de agua, los de régimen intermitente “se presentan en la cuenca alta y media principalmente, siendo escasos en la cuenca inferior” (Carbone y Piccolo, 2010).

Como todas las cuencas del sudoeste bonaerense, excepto las encadenadas del oeste, la cuenca alta abarca el sector norte del área de estudio. En esta zona se localizan las nacientes del arroyo Claromecó. El área representa un alto topográfico denominado Pampa de Juárez o llanura interpuesta (García Martínez et al.,

Figura 1
Cuenca del arroyo Claromecó



Fuente: Arias J., 2021

2008) con cotas máximas en el extremo norte de aproximadamente 250 m.s.n.m. y de suave pendiente hacia el sureste (Sosa et al., 2017). El escurrimiento superficial es anárquico o no integrado, con un área lagunar superior a los 12 km² conformado por lagunas y bañados de carácter tanto permanentes como temporario (Carbone y Piccolo, 2012; Carbone, Pérez, Piccolo y Perillo, 2005).

En la cuenca media, la planicie elevada es disectada por los brazos principales del arroyo Claromecó formando lomadas elongadas en el sentido del drenaje (Sosa et al., 2017). El rasgo morfológico de condicionamiento estructural queda determinado por el Bloque Gonzáles Chávez con su borde NE ascendido sobre el lineamiento Pescado Castigado – Malacara Inferior hasta el río Quequén Grande hacia el este, el cual tiene notable control sobre los cursos y representa una divisoria de agua con las cuencas aledañas (Carbone, 2003; Sosa et al., 2017). La red de drenaje presenta un diseño dendrítico a subparalelo (Sosa et al., 2017).

La cuenca inferior está compuesta por “una planicie de agradación de baja pendiente” (Sosa et al., 2017) con un canal principal, el arroyo Claromecó. Según García Martínez et al. (2008), se “configura como un cauce ancho y sinuoso en planicie de llanura, con márgenes inestables y niveles de acarcavamiento”. En cercanías a la costa atlántica, el canal se hace más profundo y se pueden observar el desarrollo de “cascadas y saltos de no más de 1,5 m de expresión vertical” (Sosa et al., 2017). Finalmente, desemboca en el Océano Atlántico luego de recorrer 60 km en un dinámico estuario (Carbone, 2003).

El área de estudio se encuentra en la “gran faja zonal de los climas templados caracterizados por registrar temperaturas medias anuales entre 14° C y 20° C con estaciones térmicas bien definidas” (Carbone, 2003). La precipitación promedio anual es de 770 mm correspondiente a un régimen hídrico sub-húmedo seco (Carbone y Piccolo, 2002; Borda, 2016; Bertola et al., 2009). Se caracteriza por poseer lluvias importantes durante la primavera (Carbone et al., 2005). El déficit hídrico anual potencial (diferencia entre lluvias y evapotranspiración potencial) oscila entre 229 a 255 mm, con mayor significancia en los meses de verano (Borda, 2016).

La cubierta sedimentaria es, según Sosa et al. (2017) relativamente homogénea, formado por limos gruesos arenosos castaño pardo con algunas variaciones texturales y rasgos postdepositacionales. El sustrato está compuesto fundamentalmente “por loess y limos de distintas edades: desde el Mioceno hasta el Plioceno tardío, con predominancias de

limos del Plioceno” (Carbone y Piccolo, 2002). El área se caracteriza por presentar una capa de tosca a escasa profundidad, con un espesor entre 1 y 2 metros y ser suelos ricos en materia orgánica (Carbone y Piccolo, 2010).

Desde el punto de vista fitogeográfico, la zona corresponde al distrito austral de la provincia pampeana (Cabrera 1971 en Bertola et al., 2009). Predominan las especies herbáceas latifoliadas perennes y efímeras (Carbone, 2003) entre las que se puede mencionar *Bromus unioloides* (cebadilla criolla), *Lolium multiflorum* (cola de zorro), *Piptochaetium napostaense* (fechilla negra), *Stipa neesiana* (flechilla común), *Stipa papposa* (flechilla blanca), *Medicago sativa* (alfalfa) y *Plantago lanceolata* (llantén), en su mayoría son forrajeras nativas (Carbone y Piccolo, 2010).

El área de estudio se localiza dentro de los límites administrativos de los partidos de Tres Arroyos y Adolfo González Chaves. Comprende las áreas urbanas de las ciudades homónimas, las localidades de Claromecó y De La Garma, como así también los denominados ‘parajes’: Estación Claudio Molina, Estación Las Vaquerías, Estación Barrow, Estación Vázquez y Lin Calel (Fig. 1).

El partido de Tres Arroyos se localiza en una región con un perfil productivo de orientación mixta, con una alta predominancia de la agricultura que basa su producción en sistemas extensivos y diversificados (Bilello, del Carmen González y Román, 2008). La ciudad de Tres Arroyos, cabecera del partido, ve atravesado su tejido urbano por los tres arroyos: Orellano, Medio y Seco (Fig. 1), hecho que le da origen al nombre de la localidad. En la jerarquía urbana regional, se considera un centro de tamaño intermedio con 46.867 habitantes (INDEC, 2010), con una economía urbana interdependiente del sector agropecuario. En tal sentido, Martín (2007) menciona:

“La actividad agropecuaria constituye la base de la economía local, confiriéndole una identidad propia que ha sido decisiva a lo largo de la historia. La industria en tanto, se inició a fines del siglo XIX, manteniendo desde entonces, un patrón de especialización vinculado a dos sectores de actividad, el metalmecánico y el agroalimentario, muy relacionados con la actividad agropecuaria local y regional” (Martín, 2007: 158).

La localidad de Claromecó constituye el “principal centro turístico del partido, tanto por la infraestructura y servicios de planta específicos, como por la cantidad de habitantes que posee y turistas que arriban al mismo” (Irujo, 2010). Junto a las localidades de Orense y Reta cubre la demanda del turismo de sol y playa, con una marcada estacionalidad. Las playas tienen un ancho variable, en algunos lugares de más de 100 m (Kokot, Andarano y

Valladares, 2011), con médanos que alcanzan gran desarrollo y altitud (Bertola, Cortizo e Isla, 2009).

El partido de Adolfo Gonzáles Chaves tiene 12.029 habitantes, de los cuales 9.066 residen en la cabecera del partido (INDEC, 2010). Se caracteriza por el predominio de un sistema mixto agrícola – ganadero, que en los últimos años ha prolongado los ciclos agrícolas con respecto al periodo de uso pecuario, principalmente con el incremento del cultivo de soja (Rodríguez y Ramos, 2016). Al igual que en el partido de Tres Arroyos, en la industria sobresalen los rubros relacionados con el agro entre los que se destacan la carpintería y la herrería rural.

La cuenca del arroyo Claromecó “participa con el 8% de la producción de cereales en el país” (Carbone et al., 2005). Las condiciones generales son aptas para la siembra de cereales, ocupando el 51,4% de la superficie explotable y el cultivo de oleaginosas, principalmente las segundas en los campos de mayor altura (Carbone y Piccolo, 2002). La cuenca media se ha caracterizado tradicionalmente por el predominio de un sistema mixto, que en los últimos años ha incorporado nuevas superficies con baja aptitud agrícola. En la cuenca alta, se desarrolla principalmente la actividad ganadera dado que el 10% de la superficie está cubierta con cuerpos lagunares (Carbone y Piccolo, 2002).

1.2. Planteamiento del problema

La cuenca del arroyo Claromecó no cuenta con análisis espacial integrado para la planificación de medidas orientadas a la gestión del riesgo ambiental.

Hipótesis

- a. La alternancia de ciclos secos y húmedos asociados a cambios antropogénicos acentúan los riesgos ambientales en la cuenca del arroyo Claromecó.
- b. La construcción de modelos geográficos favorece la elaboración de medidas de planificación orientadas a la gestión del riesgo ambiental.

Objetivos

Objetivo General

Realizar un análisis espacial para la determinación del riesgo ambiental en la cuenca del arroyo Claromecó orientado a la planificación para la mitigación de riesgos.

Objetivos específicos

- Identificar los factores naturales y antropogénicos que estructuran la organización espacial de la cuenca del arroyo Claromecó.
- Generar y determinar los indicadores ambientales.
- Construir una base de datos geográfica que posibilite la integración de la información geográfica.
- Estudiar el comportamiento de los indicadores ambientales.
- Realizar un análisis espacial a partir de los indicadores construidos.

CAPÍTULO 2: Marco Teórico – Conceptual

La geografía como ciencia que evoluciona, ha sido marcada por distintas corrientes de pensamiento. Si bien, recién logró afirmarse como disciplina científica a fines del siglo XIX, a lo largo del tiempo, fueron numerosos los paradigmas que la influyeron (Edin Cuadra, 2014). Por esta razón, la ciencia geográfica fue adoptando diferentes enfoques para abordar su objeto de estudio: el espacio geográfico. Algunos de ellos adquieren mayor relevancia que otros en determinados tramos de tiempo, pero todos siguen en carrera con sus diferentes miradas sobre la realidad (Edin Cuadra, 2014).

Por su parte, Santarelli y Campos (2002) expresan:

“Una visión amplia de la situación actual de la Ciencia Geográfica admite el empleo combinado de metodologías y técnicas cuantitativas, de la percepción, radical y humanista que, en algunas circunstancias, coexisten en una gama conceptual heterogénea o, en otras, con manifestaciones claras de la línea adoptada” (Santarelli y Campos, 2002: 50).

Entre los numerosos enfoques que nutren la geografía, debemos mencionar la Geografía Regional, dado que el método de superposición cartográfica sostenida conceptualmente por Sorre (1943-1952) sustenta la construcción de la región. Este método combinaba aspectos físicos y humanos en busca de obtener áreas homogéneas y relaciones de causalidad, el cual hasta hoy se mantiene y justifica el uso de las actuales TIG (Buzai y García de León, 2015). Por otra parte, el paradigma cuantitativo pese a que experimentó una disminución de su impulso entre la década de los setenta y los ochenta (Buzai y García de León, 2015), pudo sostenerse a través del tiempo por la demanda que han tenido sus técnicas en un mundo saturado de datos, producto del desarrollo tecnológico (Edin Cuadra, 2014). Según Buzai y García de León (2015) el paradigma cuantitativo generó siete principios que caracterizan los estudios de análisis espacial:

- El abordaje geográfico es principalmente espacial. No existe posibilidad de realizar estudios geográficos sin base espacial.
- La región se construye.
- La metodología de construcción regional es cuantitativa. Utiliza métodos clasificatorios. El procedimiento de clasificación se utiliza para agrupar unidades espaciales y esto a nivel cartográfico lleva a definir espacios como parte del proceso necesario para la formación de regiones.
- Se busca la construcción de modelos, ya que atiende a las características espaciales generalizables. Los modelos espaciales son construcciones simplificadas de la realidad

espacial que permiten comprenderlas en sus rasgos fundamentales y también pueden actuar como una guía para la planificación territorial.

- Se descarta el excepcionalismo.
- Se producen capacidades interdisciplinarias: disponer de procedimientos metodológicos basados en la cuantificación brindaría la posibilidad de compartir un lenguaje común a otras ciencias.
- Se logra una mayor objetividad. En ningún momento se considera que la investigación científica sea objetiva, se considera que se avanza en mejorar la objetividad al brindar abiertamente los métodos y procedimientos seguidos en la construcción de conocimientos.

La geografía ambiental, con su visión holística y relacional, ha contribuido a la concientización social, así como a la investigación y evaluación ambiental de problemáticas concretas en distintos espacios geográficos. Mediante el uso de generalizaciones, teorías, modelos e indicadores, entre otros, el enfoque ambiental se interesa por aquellos temas que involucren relaciones, tanto reales como potenciales, entre los grupos humanos y sus entornos (Edin Cuadra, 2014).

Geografía automatizada y geotecnologías

La llamada Geografía Automatizada es una resultante, en el campo de la geografía, del contexto o paradigma tecnológico informático, digital, satelital y redificado (edificado en red) que caracteriza a nuestro mundo “global” el cual se aborda como un enfoque geográfico en conformación (Edin Cuadra, 2014). Para Buzai y García de León (2015), se basa en el cuantitativismo con pequeños aportes del paradigma racionalista, donde los Sistemas de Información Geográfica (SIG) posibilitan tener una visión digital del mundo para su tratamiento y análisis mediante el uso de medios computacionales.

En tal sentido, “la geotecnología deja de ser un simple conjunto de herramientas de análisis espacial y nutrida de conceptos geográficos llega a convertirse en una interfase con notable carga teórica” (Buzai, 2001). La perspectiva geotecnológica implica analizar la realidad como sistema y esto puede ser realizado considerando dos principales perspectivas: como sistemas generales y como sistemas complejos (Buzai, 2015). Crea una nueva visión del espacio geográfico y sus modelos presentarán un amplio impacto como modo predominante de ver la realidad en el análisis espacial digital (Buzai, 2001).

Por otra parte, Cromley (1983) expresa:

“...considerada como técnica, la Geoinformática se presenta como un conjunto de herramientas y un campo de reflexión interdisciplinaria, por lo tanto, en el interior de la ciencia geográfica no se presentará como herramienta neutra, sino que favorecerá a diferentes paradigmas establecidos (en Buzai, 2001: 627)

Frente a esta situación, Buzai y García de León (2015) aclaran:

“...la modernidad obliga a los profesionales dedicados a la cuantificación a diferenciar, con todo cuidado, las capacidades que convierten a las técnicas estadísticas y computacionales en herramientas del análisis geográfico, para tenerlas claras como un medio para el análisis geográfico, evitando confundirlas con los propios fines del mismo” (Buzai y García de León, 2015: 43).

El análisis espacial y los modelos geográficos

La Geografía además de definirse básicamente como una ciencia del presente que acude al pasado para ver la génesis de las configuraciones espaciales actuales también puede considerarse una ciencia del futuro (Buzai, 2015). En este sentido, el análisis espacial permite obtener resultados de simulación relativos a posibles situaciones futuras. Representan distribuciones espaciales hipotéticas que generan visiones instrumentales de utilidad para el ordenamiento y planificación territorial (Buzai, 2015). El modelado espacial, por su parte, permite apoyar los procesos de toma de decisión como marco de una gestión social con base territorial y adquiere una notable valorización en ámbitos académicos diversos y no-académicos (Buzai, 1998).

El análisis espacial tiene gran amplitud porque interviene en todas las escalas de la realidad. El análisis geográfico ocupa solo un sector intermedio del análisis espacial, el de una escala humana, y con altas posibilidades de integración de variables sociales y naturales (Buzai, 2015). Es en las prácticas de investigación científica donde se recurre al análisis espacial, el cual se transforma en sustento de todo el proceso, desde la formulación del problema hasta su resolución y transferencia, el cual, desde un punto de vista temático, constituye una serie de técnicas matemáticas y estadísticas aplicadas a datos distribuidos sobre el espacio geográfico (Buzai, 2015). Así, que en este estudio se construyeron indicadores sociales y naturales, los cuales se integraron para el estudio de la problemática planteada y se aplicaron unas series de técnicas y metodologías para comprender mejor el modelo digital de la realidad.

Un aspecto muy particular del análisis espacial es su clara correspondencia entre los Principios Geográficos (localización, conexión, extensión, complejidad, dinamismo, conexión y globalidad territorial) y sus cinco conceptos fundamentales: Localización,

Distribución Espacial, Asociación Espacial, Interacción Espacial y Evolución Espacial (Buzai, 2015):

- LOCALIZACIÓN: considera que todas las entidades (con sus atributos asociados) tienen una ubicación específica en el espacio geográfico.

- DISTRIBUCIÓN ESPACIAL: considera al conjunto de entidades de un mismo tipo se reparten de una forma determinada en el espacio geográfico.

- ASOCIACIÓN ESPACIAL: considera el estudio de las coincidencias encontradas al comparar diferentes atribuciones espaciales. La forma de comparación más clara y directa es el análisis visual que se puede realizar con posterioridad a la superposición cartográfica de ambas distribuciones.

- INTERACCIÓN ESPACIAL: considera la estructuración de un espacio relacional en el cual las localizaciones (sitios) distancias (ideales o reales) y vínculos (flujos) resultan fundamentales en la definición de espacios funcionales.

- EVOLUCIÓN ESPACIAL: considera la incorporación de la dimensión temporal a través de considerar estados de configuración espacial que cambian por otros.

En este sentido, los SIG han tenido un papel fundamental dado que permitieron que los conceptos fueran operativos bajo un mismo ambiente (Buzai, 2015). Sin embargo, es importante aclarar que el cosmo digital (RD) no es una recreación completa de la realidad territorial (RE), sino parcial, lo que implica instituir límites y una trasposición selectiva de esta última. Esta se realiza a partir de la construcción de una alteridad tecnológica del espacio real mediante el diseño y modelado de la base de datos espaciales (Moreno Giménez, 2015).

Según Buzai (2001), el mundo real es el entorno vivencial de múltiples dimensiones que encontramos diariamente a nuestro alrededor. El mismo se organiza como un sistema complejo en el cual pueden determinarse elementos y relaciones en diferentes niveles de resolución. El punto central de este primer proceso de representación, es el hombre que aprende el espacio geográfico, a través de la observación y medición y mediante un procedimiento de selección. Este es el espacio geográfico como modelo conceptual que es posible incorporar al ambiente computacional para su tratamiento y análisis. Pasar de uno a otro requiere simplificaciones cuyas consideraciones teóricas sólo pueden comprenderse a través de los procedimientos intelectuales mediante los cuales el mundo real se transforma en un modelo digital (Buzai, 1994 en Buzai, 2001). Según Moreno Giménez (2015), la sustitución de la RE por la RD suscita la necesidad de considerar los requisitos de exactitud,

completitud, consistencia, integridad, en las facetas espacial, temporal y temática a la hora de diseñar y aceptar una base de datos espacial que sustenta a la RD para la indagación.

Geografía del riesgo

El concepto de riesgo “ha ido evolucionando progresivamente desde la Grecia Clásica [...] pero ha sido a partir de los tres últimos siglos cuando ha recibido un significativo avance en su concepción” (Vías, 2005). En el contexto mundial, así como en el latinoamericano, el riesgo y la vulnerabilidad han logrado posicionarse como conceptos claves de la discusión científica, política y social sobre las problemáticas actuales y futuras que atraviesan las sociedades.

Para Lara San Martín (2013), el concepto de riesgo presenta tantos significados como disciplinas científicas existen. En las ciencias sociales, se tiene en cuenta el carácter multidimensional del mismo. Además de la dimensión numérica de probabilidades y pérdidas cuantificables, se tiene en cuenta aspectos cualitativos sobre la naturaleza y los problemas asociados a los riesgos (2013).

El paradigma de investigación de los riesgos comenzó a elaborarse a partir del análisis del fenómeno de inundación en la década de los cincuenta. Según Calvo García Tornel (1984), en un principio se aplicó al estudio de una serie reducida de peligros de tipo natural para pasar pronto a la búsqueda de la identificación del concepto de "peligrosidad de un lugar". Posteriormente, se incorporó el estudio de la adaptación humana al medio y su modificación como generador de nuevos riesgos. Desde un punto de vista geográfico, Calvo García Tornel define el riesgo como:

“...la situación concreta en el tiempo de un determinado grupo humano frente a las condiciones de su medio, en cuanto este grupo es capaz de aprovecharlas para su supervivencia, o incapaz de dominarlas a partir de determinados umbrales de variación de estas condiciones” (Calvo García Tornel, 1984: 2).

El concepto de riesgo se asocia a la idea de prevenir sin certeza. La incertidumbre ha sido una de las preocupaciones que ha generado la necesidad de prevenir. Sin embargo, es a partir del siglo XVII, cuando se desarrolla el concepto de riesgo con las ideas de prudencia y seguridad. El concepto es relativamente reciente, anteriormente era el peligro lo que se relacionaba con las catástrofes (Briones Gamboa, 2005). El estudio de los peligros naturales y de los riesgos surge en Estados Unidos a principios del siglo XX, como consecuencia de las frecuentes inundaciones que se producían (Aneas de Castro, 2000) y es en las últimas décadas, donde ha adquirido categoría de pensamiento científico (Olcina Cantos, 2008).

En los últimos años, ha comenzado a posicionarse el conocimiento integral y aplicado que surge a partir de la necesidad de explicar y entender el desastre con la integración de los conocimientos físicos, naturales y humanos de las disciplinas; brindando un conocimiento con intereses técnicos, prácticos y políticos con propósitos de planeación. (Martínez Rubiano, 2015). En la actualidad, se reconoce el carácter irreductible del riesgo, es decir la imposibilidad de restringirlo a cero. Es por ello, que surge la necesidad de incorporarlo como variable de análisis en el proceso de planificación, el cual debe evaluarse para poder tomar posiciones (Zinger, 2000 en Michalijos, 2018). Es dentro de esta tendencia donde la geografía tiene cada vez más participación:

“La disciplina geográfica, ha desarrollado diferentes explicaciones científicas de la relación sociedad-naturaleza y su ámbito espacial que puede brindar algunos conocimientos a la teoría del riesgo, como es el caso de los análisis espaciales y el ordenamiento de los territorios” (Martínez Rubiano, 2015: 128)

La construcción del riesgo es un proceso social e histórico, producto de conflictos de intereses, bienes y accesos diferenciales, público y privado, público y público (Herzer, 2011). Está asociado a la producción del espacio geográfico, es el producto de una sociedad en un determinado tiempo y lugar, son las decisiones sobre el uso, ocupación y organización del espacio que crean situaciones de riesgo (Ferreira Freire y Natenzon, 2013 en Michalijos, 2018)

Teoría social del riesgo

La teoría social del riesgo fue formulada en la década de 1980 por Ulrich Beck y Antony Giddens, la cual significó una ruptura en la tradicional interpretación naturalista de los desastres. Según Beck (1998) la sociedad del riesgo comienza donde termina la naturaleza y la tradición. “La teoría de la sociedad del riesgo interpreta las formas en que la combinación de estos dos procesos interrelacionados [...] ha alterado el estatuto epistemológico y cultural de la ciencia y la constitución de la política” (Beck, 1998). De esta forma, la creación del riesgo ya no puede considerarse apolítica conformándose como híbridos hechos por el hombre, donde la sociedad moderna se vuelve objeto y problema para sí misma (Beck, 1998).

El riesgo ambiental se materializa de forma diferente dependiendo el país, región o localidad, como consecuencia de la relación conflictiva entre el hombre y la naturaleza según explica el sociólogo alemán. Es en este contexto, donde la vulnerabilidad se ha convertido en un elemento indispensable en los análisis de riesgos ambientales. Según Beck (1998), la vulnerabilidad es la consecuencia de juegos de poder sobre la toma de decisiones en marcos

nacionales y globales, son los medios y las posibilidades de que disponen los individuos, las comunidades o grupos enteros de la población para acabar con los riesgos que amenazan su existencia (Cohen, 2017). De esta forma, el concepto de riesgo (accidente x probabilidad) caracteriza un peculiar estado intermedio entre la seguridad y la destrucción, donde además de adoptar la forma de cálculo de probabilidades también se define por estándares culturales (Cohen, 2017). En síntesis y de acuerdo con Natenzon (2015), abordar esta teoría implica analizar sus cuatro dimensiones: peligro, vulnerabilidad, exposición e incertidumbre. El riesgo será la resultante de las tres primeras dimensiones, mientras que la incertidumbre se dará como consecuencia de la falta de conocimiento de alguna de ellas.

Riesgo

El concepto de riesgo presenta distintas acepciones dependiendo de la disciplina científica que lo estudie. En tal sentido, Bertonecello et al. (2003) expresa

“Tradicionalmente, en el ámbito de las disciplinas científicas definidas como técnico-científicas, el riesgo es considerado como la forma de cuantificar la incertidumbre, incluyendo expresiones referentes a probabilidades y resultados adversos. Entendido así, el riesgo es asumido desde el punto de vista de la cuantificación, por lo tanto, se incorpora el cálculo como medición[...] Por su parte, “la Sociología, plantea el tema del riesgo como una cuestión que no debe abordar sólo lo meramente técnico-cuantificable sino también las particularidades propias de la problemática social...” (en Rosell, 2010:11).

Wilches-Chaux (1993:7) define el riesgo como “...cualquier fenómeno de origen natural o humano que identifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a ese fenómeno”. Para Cardona (1993) es “...la probabilidad de que se manifiesten determinadas consecuencias relacionadas con el grado de exposición de los elementos sometidos y a la vulnerabilidad que tienen dichos elementos a ser afectados por el evento (Michalijos, 2018).

El riesgo se relaciona con el grado de vulnerabilidad al que está expuesta una comunidad. Imprime la desorganización de los patrones normales de la vida generando adversidad, desamparo y sufrimiento de las personas. Además, afecta la estructura socioeconómica de una región o un país y modifica los patrones ambientales de modo tal que, como respuesta, impera la necesidad de asistencia y de intervención inmediata (Rosell, 2010).

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad “hace referencia a la susceptibilidad de una comunidad para ser afectada por algún fenómeno, por ello en mayor o en menor medida toda la sociedad es vulnerable...” (Michalijos, 2018). Para Wilches-Chaux (1993:10) es la “...incapacidad de

una comunidad para absorber, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea su inflexibilidad o incapacidad para adaptarse a ese cambio”.

Wilches-Chaux (1993) explica que la vulnerabilidad en sí misma constituye un sistema dinámico, es decir, que surge como consecuencia de la interacción de una serie de factores y características (internas y externas) que convergen en una comunidad particular y que se conoce como vulnerabilidad global. Por otra parte, “los conceptos de vulnerabilidad y riesgo están íntimamente ligados entre sí [...] la condición de vulnerabilidad de un grupo humano puede dar lugar a nuevos riesgos, los cuales, a su vez generan nuevas vulnerabilidades y, en consecuencia, nuevas posibilidades de desastre” (Wilches-Chaux, 1993:8).

Peligro o Amenaza

El peligro o amenaza es según Cardona (1993), la “probabilidad de que ocurra un fenómeno natural o humano peligroso” mientras que para Natenzon (2015:13-14) “... la cualidad peligrosa de los fenómenos o procesos implicados que están mediados socialmente por un sujeto que lo define como tal”.

Algunos autores consideran la amenaza como factor de riesgo externo de un sujeto o sistemas, representando un peligro latente mientras que otros sostienen que un evento físico extremo solo se transforma en amenaza a partir de la intermediación del hombre (Rosell, 2010). Dado este último punto, se considera que el concepto de amenaza es socialmente construido.

Exposición

La exposición es entendida como “...la distribución de lo que es potencialmente afectable, la población y los bienes materiales que podrían ser destruidos o dañados [...] Es el resultado de la interrelación entre peligrosidad y vulnerabilidad cuya combinación indica que personas, objetos y construcciones son vulnerables a determinadas peligrosidades (Natenzon, 2015). Según Rosell (2010) “...la exposición se refiere a las construcciones materiales y a la distribución territorial de la población que podría ser afectada ante el peligro-amenaza. La misma expresa la interrelación entre peligrosidad y vulnerabilidad. En tal sentido, “el tratamiento de esta dimensión requiere del análisis de los componentes propios del ordenamiento territorial y, en general del apoyo de cartografía, en especial de los Sistemas de Información Geográfica” (Rosell, 2010:19).

Incertidumbre

La incertidumbre representa el desconocimiento de los tres componentes del riesgo mencionadas anteriormente, razón por la cual es la dimensión no cuantificable (Michalijos, 2018). Frente a esto, “la solución a la problemática planteada es la participación de todos los sectores sociales involucrados en el diseño, gestión e implementación de políticas de prevención y mitigación de desastres” (Michalijos, 2018:47).

Cartografía del riesgo

Partiendo del hecho que la cartografía manipula, analiza y representa ideas, formas y relaciones que se producen en el espacio y en el plano. La cartografía de riesgo constituye una cartografía temática. Tiene por objetivo la representación convencional de los fenómenos localizables de cualquier naturaleza y de sus correlaciones (Joly, 1979 en Michalijos, 2018). Por otro lado, permite conocer la distribución geográfica de las pérdidas esperadas (económicas, sociales o ambientales) producto de la ocurrencia de uno o más peligros (Renda et al., 2017).

Según Del Granado Cosio (2003) la cartografía del riesgo es el resultado del cruce del mapa de peligro, vulnerabilidad y exposición. El mapa de peligros establece geográficamente dónde y hasta qué punto determinados fenómenos socionaturales representan un peligro a la sociedad, propiedad, infraestructura y actividades económicas mientras que el mapa de vulnerabilidad establece la distribución de la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada en caso de que una amenaza se manifieste (Michalijos, 2018).

La representación del riesgo a partir de mapas temáticos es de vital importancia dado que constituye un “instrumento de planificación y gestión para la prevención de desastres que permite: proponer políticas, estrategias, planes y proyectos de gestión de riesgos (del Granado Cosio, 2003 en Michalijos, 2018).

Gestión del riesgo

Otro aspecto a tener en cuenta en el marco de la Teoría Social del Riesgo es la gestión pública o privada del mismo. “El concepto de gestión del riesgo ha tenido que evolucionar desde enfoques orientados en el control y en la reducción del desastre hasta llegar a una visión sistemática que lo considere parte de un todo integral y armónico” (Lara San Martín, 2013: 55).

Según Lara San Martín (2013) el concepto ha evolucionado teniendo distintas acepciones. Entre la década de 1940 y 1970 el enfoque de gestión del riesgo se centraba en las emergencias y los desastres, por lo que las políticas públicas se orientaron a atender las consecuencias negativas provocadas por el desastre liderados por las fuerzas armadas. Durante la década de 1980, el enfoque se centra en la amenaza y en las respuestas de recuperación. Se fortalece el concepto de la medida estructural para reducir y controlar los desastres y se crean instituciones de protección civil. En la década del 1990, comienza la atención en la vulnerabilidad y la prevención. Los procesos de planificación y desarrollo debían contemplar la posibilidad de ser afectados por un desastre natural.

Es finalmente a partir del siglo XXI, donde la atención se centrará en la gestión y reducción del riesgo. El cual se aborda como un todo sistémico, es decir, como un proceso social integral y permanente, a la vez que se potencia el concepto de resiliencia dentro de las políticas de reducción del riesgo. Sin embargo, la mayoría de los países tienen dificultades a la hora de evaluar sus riesgos de desastres de una manera exhaustiva y de incorporar la información sobre evaluación del riesgo en sus decisiones de planificación, inversiones y desarrollo (Lara San Martín, 2013). Finalmente, para Olcina Cantos (2008) el municipio es el ámbito idóneo para los estudios de riesgo dado que la planificación de usos del suelo tiene en última instancia una plasmación física en lo local.

CAPÍTULO 3: Metodología

La metodología que guía esta tesis se fundamenta en la triangulación metodológica, es decir, en el uso de más de un método en el estudio de una misma problemática. Para Morse (1991), el uso de al menos dos métodos, usualmente cuantitativo y cualitativo, para direccionar el mismo problema de investigación, asegura una aproximación más comprensiva en la solución del mismo (Arias, 2000:2).

Entendido el enfoque mixto como el “proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio” (Hernández Sampieri et al., 2006:755), la combinación de ambos enfoques, permite una percepción más integral, completa y holística del fenómeno. Asimismo, ayuda a clarificar el planteamiento del problema y las formas más apropiadas para estudiarlo (Hernández Sampieri et al., 2006).

Metodología para el estudio del riesgo ambiental

Para estudiar el comportamiento ambiental de la cuenca del arroyo Claromecó se propone la metodología de un modelo geográfico orientado a la planificación para la mitigación de riesgos (Fig. 2) basado en la construcción de un modelo digital de la realidad con el uso de geotecnologías. En el mismo se identificaron los factores naturales y antropogénicos presentes en el área de estudio, mediante exploración documental, investigación de campo y tratamiento de datos, información geoespacial e información geográfica en gabinete. Posteriormente, se transformó la realidad territorial a una realidad digital mediante la elaboración de indicadores. La realidad digital se construyó siguiendo las pautas recomendadas por la Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina (IDERA), en cuanto a la catalogación de objetos geográficos y sus respectivos metadatos, para permitir la interoperabilidad de la información generada.

Para el análisis espacial de la cuenca se identificó el riesgo ambiental a partir de la construcción de un índice (Tabla I) basado en la teoría social del riesgo (Michalijos, 2018). El modelo de riesgo se estructura en cuatro niveles jerárquicos: índices, subíndices, subfactores e indicadores (de Vicente y López, 2012).

El primer nivel es el índice de riesgo ambiental, el cual representa el objetivo principal del modelo y el nivel más abstracto, compuesto por los valores de todos los niveles inferiores. El segundo nivel, está conformado por las cuatro dimensiones del riesgo representados mediante un subíndice: peligro, vulnerabilidad, exposición e incertidumbre. En el tercer nivel, se encuentran los distintos tipos de peligrosidades y vulnerabilidades

presentes en el área de estudio, conformando los factores del modelo. En el cuarto nivel, se encuentran los elementos naturales y antropogénicos compuestos por los parámetros del nivel inferior. Los indicadores, constituyen el último nivel y la base del índice, formado por los elementos más simples del modelo y que se pueden medir por sí mismos, de forma directa y objetiva.

En cada uno de los niveles fueron utilizados métodos específicos, en función del objetivo y la revisión bibliográfica que se desarrolló a lo largo de la tesis. Para generar un análisis integrado de cada variable, se aplica una escala común de valores a cada componente del modelo mediante álgebra de mapas y reclasificación. La misma se basa en 5 categorías del 1 al 5: “muy alto”:1; “alto”: 2; “moderado”: 3; “bajo”: 4 y “muy bajo”: 5. Los resultados obtenidos de la suma se reclasificaron mediante el método de quintiles. Por ejemplo, frente a la suma de 3 variables los valores obtenidos, entre 1 y 15, fueron reclasificados en cinco grupos de datos. El primer quintil (categoría 1: muy alto) agrupa los valores mayores a uno y menores o iguales a 3, el segundo (categoría 2: alto) los superiores a 3 y menores o iguales a 6, el tercero (categoría 2: moderado) los mayores a 6 y menores o iguales a 9, el cuarto (categoría 4: bajo) los superiores a 9 y menores o iguales a 12 y el último quintil (categoría 5: muy bajo) los valores superiores a 12.

Figura 2
Metodología para el estudio del riesgo ambiental

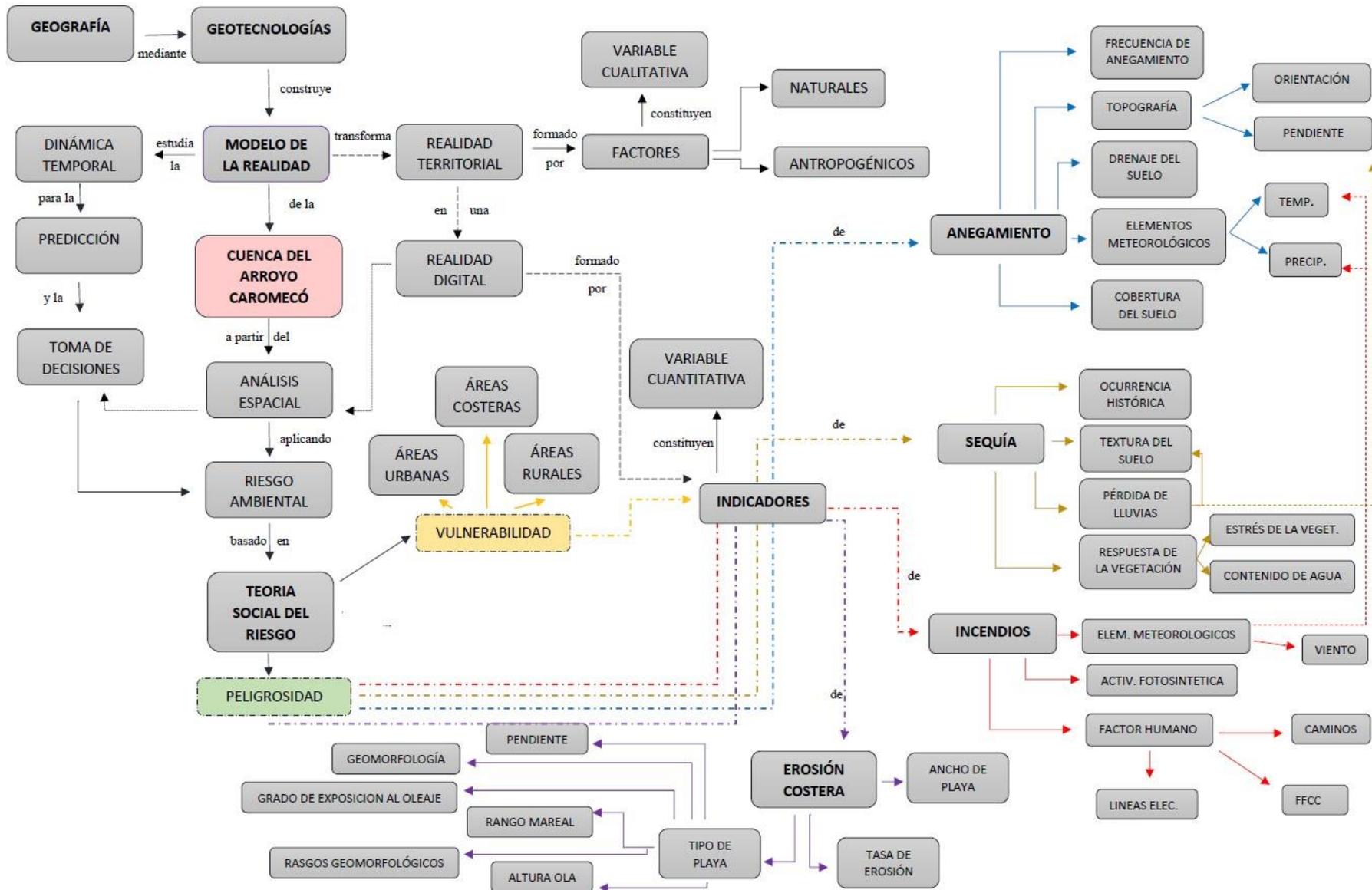


Tabla I
Modelo de riesgo ambiental

Índice	Subíndice	Subfactor	Indicador	Materiales	
<i>Riesgo ambiental</i>	Peligro de anegamiento	Frecuencia de anegamiento	Frecuencia de píxeles anegados	Imágenes satelitales	
		Presencia de agua	Cuerpos de agua permanentes	Imágenes satelitales, cartas topográficas	
		Topografía	Altitud + Pendiente	Modelo Digital del Terreno	
		Drenaje del suelo	Clases de drenaje	Shape de anegamiento y vulnerabilidad - IDE INTA	
		Elementos meteorológicos	Temperatura + Precipitación	Climate Engine - Terra climate	
		Cobertura del suelo	NDVI	Imágenes satelitales	
	Peligro de sequía	PDSI	Temperatura + Precipitación + Humedad	Ráster provistos por el Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN)	
		Suelo	Textura	Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires - INTA	
		Coeficiente de pérdida de lluvia	Suelo + Pendiente	Mapa de suelos	
		Respuesta de la vegetación	estrés hídrico de la vegetación	Modelo Digital del Terreno	
			Contenido de agua en la vegetación	NDVI	
	Peligro de incendio	Actividad fotosintética	NDVI	NDWI	
		Factor humano	Caminos + Ferrocarril + Líneas eléctricas	Imágenes satelitales	
		Elementos meteorológicos	Temperatura + Viento + Precipitación	Shape del IGN	
	Peligro de erosión costera		Ancho de playa	Climate engine - Terra Climate	
		Tipo de playa	Geomorfología + Pendiente + Grado de exposición + Estado morfodinámico + Presencia de rasgos geomorfológicos + Rango mareal + Altura de la ola	Imágenes satelitales	
		Tasa de erosión	Línea de costa	Referencias bibliográficas	
	Vulnerabilidad		Informantes clave y búsqueda, organización y análisis de documentación y bibliografía		

Fuente: Arias J., 2021

3.1.1. Determinación de las variables para identificar el peligro

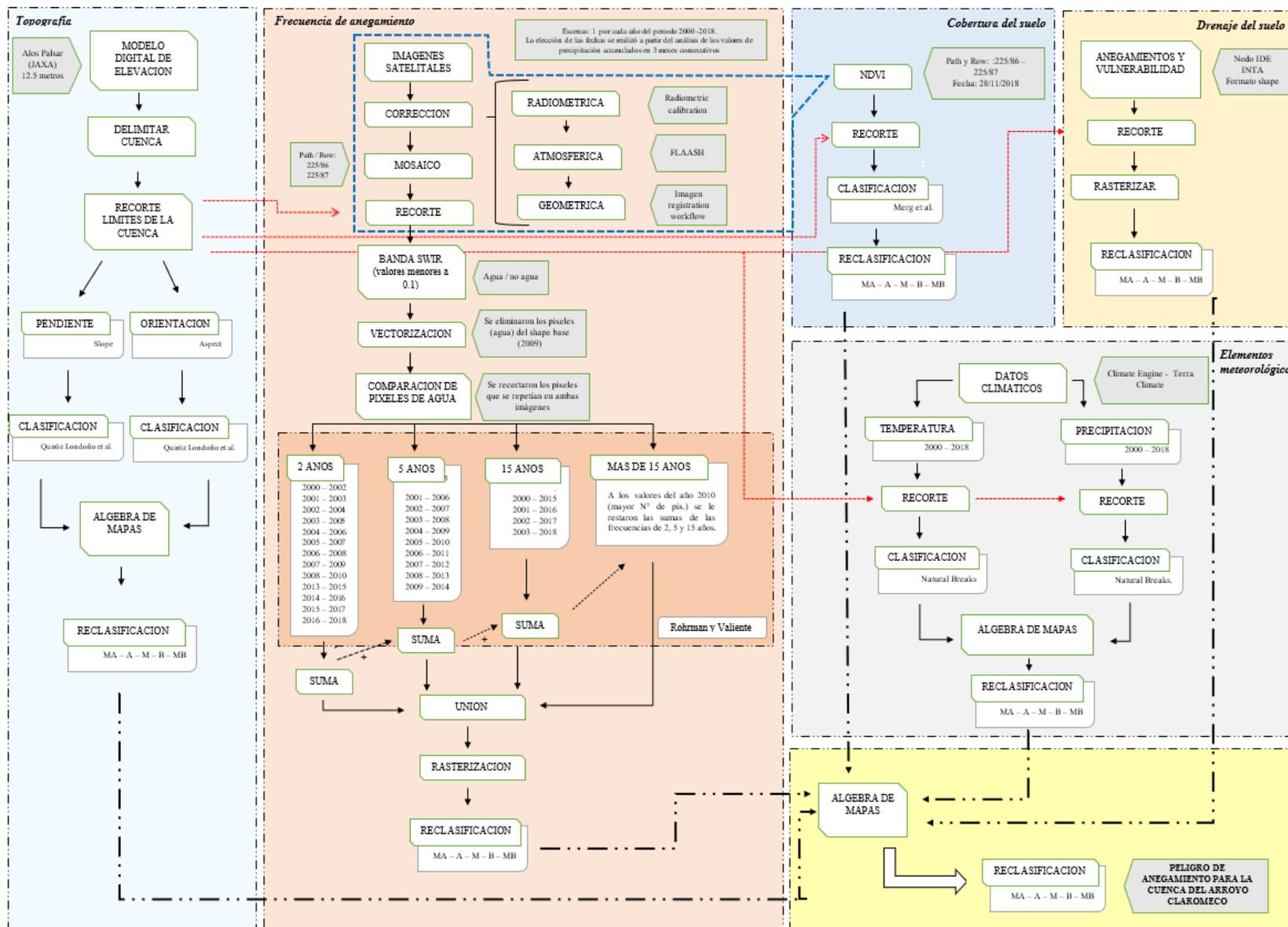
3.1.1.1. Peligro de anegamiento

El objetivo del presente apartado es identificar el peligro de anegamiento de la cuenca del arroyo Claromecó, aplicando para ello el esquema metodológico de la figura 3. Para Quiroz Londoño (2013) las inundaciones, dependiendo del régimen de precipitación que las origine, se clasifican en crecidas o avenidas y en mantiformes, siendo estas últimas comunes en zonas de llanura y la causa de la formación de grandes áreas anegadas. Sin embargo, Ferrando (2006) define una inundación como “una masa de agua que se sale de su cauce” diferente de un anegamiento, el cual especifica como “la acumulación temporal de aguas lluvias en una determinada porción de territorio”. Para que esto se dé, debe existir una situación de desbalance entre el volumen de la lluvia precipitada en un determinado lapso de tiempo y la capacidad de evacuación de un suelo dado (Ferrando, 2016; Márquez Reyes, 2008).

Para Mardoves y Vidal (2001), los anegamientos obedecen a una serie de factores naturales y antropogénicos entre los que se destacan la intensidad de la lluvia diaria, la presencia o no de sedimentos impermeables que limiten la capacidad del suelo para infiltrar adecuadamente el agua de lluvia, la presencia de sectores deprimidos con pendientes débiles o nulas y las intervenciones antrópicas como rellenos artificiales y construcciones que obstaculizan el escurrimiento natural. Por otro lado, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), explica que para que sea considerado anegamiento la lámina de agua debe permanecer sobre el suelo más de 24 horas, lo cual ocurre principalmente en planicies y cuencas cerradas, de pendientes medias y largas, inferiores al 1%, con suelos con lenta permeabilidad (INTA, 1998 en Martínez Uncal, 2015).

Se han establecido los siguientes subfactores: ocurrencia histórica, presencia de agua, topografía, suelo, elementos meteorológicos y cobertura del suelo. Los mismos fueron contruidos a partir de distintas fuentes y metodologías detalladas en la figura 3.

Figura 3
Esquema metodológico del peligro de anegamiento



Fuente: Arias J., 2021

Frecuencia de anegamiento

Para determinar la ocurrencia histórica de anegamientos en el área de estudio, se identificaron las superficies cubiertas de agua en función del tiempo de recurrencia, es decir, se determinó con qué frecuencia la cuenca del arroyo Claromecó presentaba situaciones de anegamientos y en qué sectores de la misma se daba con mayor asiduidad. A tal fin, la serie temporal elegida fue 2000-2018, con cortes de 2, 5 y 15 años.

Los resultados obtenidos fueron ordenados a partir de la clasificación de Rohrman y Valiente (2005), los cuales están expresados en la Tabla II. Los autores explican:

“Es razonable concluir que, para una zona determinada, un estado de inundación que se repite (en promedio) cada 1 año o que “todos los años se inunda”, implica que se trata de una zona muy frecuentemente inundada. Por ello, aquellas zonas anegadas visibles en imágenes satelitales con tiempos de recurrencia menores a 2 años se consideran áreas con riesgo severo de ser inundadas. Con igual criterio, aquellas zonas [...] con tiempos de recurrencia de entre 2 a 5 años, [...] puede ser catalogado como alto. Asimismo, aquellas zonas inundadas [...] con tiempos de recurrencia de entre 5 a 15 años, representan áreas donde las inundaciones se repiten en forma moderada en el tiempo y el riesgo asociado de ser inundadas puede ser identificado como medio. Por último, aquellas [...] con tiempos de recurrencia mayores a 15 años, representan áreas donde las inundaciones se repiten en forma esporádica y el riesgo asociado de ser inundados puede ser identificado como leve”. (Rohrman y Valiente, 2005: 7)

Para determinar las áreas anegadas, se identificaron los píxeles con presencia de agua utilizando imágenes satelitales de la misión Landsat (Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM y Landsat 8 OLI). Como primer paso, se calcularon los máximos precipitados en 60 días consecutivos a partir de los datos obtenidos de la estación meteorológica del INTA Barrow y de los boletines meteorológicos del Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA), de forma tal que se seleccionaron las escenas posteriores a las máximas precipitaciones anuales. Para cada uno de los años bajo estudio se identificó la máxima precipitación mensual. Luego se realizó la suma del valor de precipitación de cada mes con el valor del mes anterior y se identificó la máxima precipitación para dos meses consecutivos. De igual modo, se realizó el estudio de máxima precipitación para tres meses consecutivos.

Tabla II
Clasificación de la variable “frecuencia de anegamiento”

Frecuencia de anegamiento	Categoría de la amenaza	Calificación
> 15 años	Muy baja	5
15 años	Moderada	3
5 años	Alta	2
2 años	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de Rohrman y Valiente (2005)

Se analizaron imágenes que en su mayoría correspondían a tomas de 2 o 3 meses posteriores al pico máximo. Solo en los años 2009 y 2010 la diferencia es aprox. de 7 meses. Con respecto al año 2001, la imagen corresponde al mes de mayo siendo que el máximo valor mensual se registró en abril, mientras que en el 2009 la imagen corresponde a octubre, lo que indica meses con valores inferiores al pico máximo de marzo.

Las escenas fueron descargadas del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)¹ y corresponden a los path y row: 225/86 y 225/87. Como primer paso, se realizó la calibración radiométrica. Esta consiste en transformar los niveles digitales (DN) de la imagen a radiancia (L) que es el total de energía radiada en una determinada dirección por unidad de área y por ángulo sólido de medida (W/m²/sr-1). Es un parámetro fundamental en teledetección porque expresa aquella cantidad de energía que el sensor capta o detecta (Chuvieco, 2002). La ecuación aplicada es la ecuación:

$$L_{\lambda} = \text{"gain"} * (\text{DN}) + \text{"offset"}$$

Donde L_{λ} es la radiancia del pixel en una banda espectral específica, λ indica el número de banda, G_{λ} y B_{λ} son coeficientes de transformación de DN_{λ} a valores de radiancia (Chuvieco, 2002) (Chander y Markham, 2003; Chander et al., 2007). El primero indica la ganancia en dicha banda espectral y la segunda el sesgo (Bias - Offset).

Posteriormente, se realizó la corrección atmosférica de las imágenes utilizando el módulo FLAASH del software ENVI. Para el mismo se utilizó el modelo físico de transferencia radiativa (MODTRAN 5 Moderate resolution Atmospheric Transmission). Para la compensación de las distorsiones por aerosoles se usó el modelo rural, dado que la media del área no está bajo la influencia de fuertes coberturas industriales y urbanas. Se aplicó un modelo de visibilidad inicial de 35 km. Para la extracción de aerosoles se usó el método Kaufman-Tanre, de acuerdo a ITT (2009) este método sirve para estimar de forma más precisa la visibilidad presente en la imagen (Multispectral Setting). Finalmente, se pasaron los valores de radiancia a valores de reflectancia de superficie a partir de la siguiente ecuación:

$$(B1 \leq 0) * 0 + (B1 \geq 10000) * 1 + (B1 > 0 \text{ and } B1 < 10000) * \text{float}(B1) / 10000$$

En los casos en los que se observó un desplazamiento de la imagen satelital, se realizó una corrección geométrica. Este proceso corrige los desplazamientos y distorsiones

¹ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

geométricas presentes en una imagen. Conlleva la transformación de las coordenadas de los píxeles de una imagen de tal forma que coincidan de manera precisa con las de una imagen de referencia, mediante una transformación polinomial que se obtiene a partir del conjunto de puntos de control (Ambrosio, González y Arévalo, 2002) en ambas imágenes.

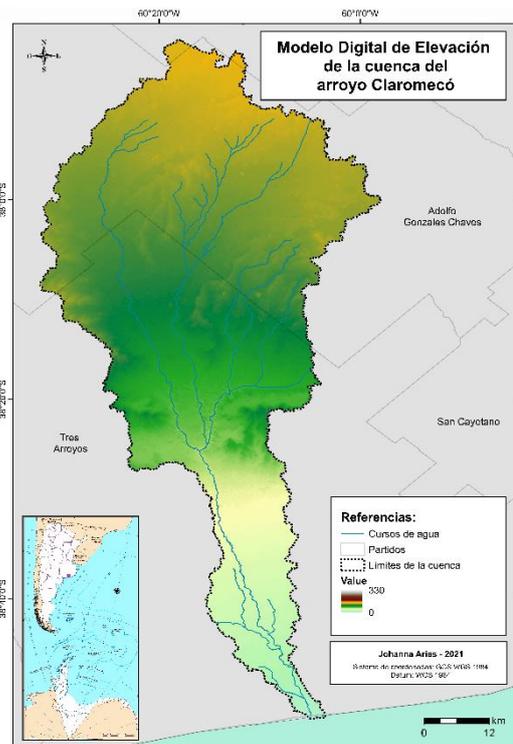
Concluidas las correcciones, las imágenes se unieron en función de la fecha de captura y el resultado fue recortado a partir de los límites de la cuenca hidrográfica. Para identificar los límites de la misma, se utilizó un Modelo de Elevación Digital (MDE) de 12,5 metros (Fig. 4), proveniente del radar de apertura sintética PALSAR del satélite ALOS de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) y el módulo Hidrología del software ArcGIS® 10.X.

Finalmente, se realizó un análisis visual de la banda del infrarrojo de onda corta o infrarrojo próximo (SWIR), mediante una expansión del histograma. De esta forma se identificaron los píxeles con cobertura de agua, es decir, aquellos

que presentaban valores menores a 0.1. Como resultado, se crearon imágenes binarias que luego fueron incorporadas al modelo para su geoprocésamiento.

Cada una de las imágenes fueron transformadas a formato vectorial para su post procesamiento (Fig. 3). Como primer paso, se eliminaron todos los valores que no hacían referencia a superficies con agua y se restaron las que coincidían con las superficies de agua en el año 2009 (escena con menor registro de píxeles de agua). Para identificar áreas que se presentaban anegadas con una recurrencia de 2 años, se recortaron las superficies que se repetían en la escena 2 años subsiguiente. Este procedimiento se realizó para cada uno de los años y para frecuencias de 5 y 15 años. Como último paso, se unieron en un mismo archivo los polígonos que presentaban igual recurrencia de anegamientos. Para identificar las áreas anegadas con una frecuencia mayor a los 15 años, se eliminaron los polígonos resultantes de la suma de los procedimientos anteriores (2, 5 y 15 años) a los identificados en la escena del año 2001, dado que corresponden a la imagen que registró el mayor número de píxeles con

Figura 4
Modelo digital de elevación



Fuente: Arias J., 2021

cobertura de agua en el periodo 2000 – 2018. Como último paso, se unieron en un archivo las cuatro capas generadas anteriormente, los cuales se reclasificaron a instancia de los valores presentes en la tabla II para su posterior uso como insumo en los pasos posteriores.

Topografía

El subfactor de topografía fue construido a partir de los indicadores de orientación y pendiente. Las clasificaciones utilizadas fueron propuestas por Quiroz Londoño et al. (2013). La elección radica en las similitudes geomorfológicas entre las áreas bajo estudio, dado que el trabajo consultado se centra en un sector del sudoeste de la provincia de Buenos Aires.

Con base en la clasificación de Quiroz Londoño et al. (2013) se determinó que los sectores de la cuenca sin orientación o con sentido norte presentan un muy alto peligro de anegamiento, las orientaciones en sentido noreste, oeste y noroeste una peligrosidad alta, en sentido este la peligrosidad es media, en sentido sureste y suroeste es bajo y en sentido sur, muy bajo (Tabla III). Con referencia a la pendiente, Quiroz Londoño et al. (2013) define que aquellas zonas con valores iguales a cero la peligrosidad es muy alta, las que presentan valores menores a 2 % es alto, entre 2 y 3% es moderado, entre a 3 y 5% es bajo y pendientes superiores a 56% cuentan con una peligrosidad muy baja (Tabla IV).

Tabla III
Clasificación de la variable “orientación del terreno”

Orientación	Categoría de la amenaza	Calificación
Sur	Muy baja	5
Sureste / suroeste	Baja	4
Este	Moderada	3
Noreste / oeste / noroeste	Alta	2
Sin orientación / norte	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de Quiroz Londoño (2013)

A partir del Modelo de Elevación Digital, expresado en el apartado anterior, se construyeron los indicadores de orientación y pendiente de la cuenca del arroyo Claromecó. Para ello se realizó un geoproceto con el software ArcGIS® 10.X. Luego de la elaboración de cada indicador, se clasificaron los valores en función de las tablas III y IV, se sumaron y se reclasificación en las 5 categorías de peligrosidad utilizadas (muy alto, alto, moderado, bajo y muy bajo), dando como resultado el peligro de anegamiento asociado a la topografía.

Tabla IV
Clasificación de la variable “pendiente”

Pendiente (%)	Categoría de la amenaza	Calificación
< 56	Muy baja	5
< 5	Baja	4
< 3	Moderada	3
< 2	Alta	2
0	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de Quiroz Londoño (2013)

Drenaje del suelo

Para estudiar el subfactor de drenaje, se utilizó la información presentada por el INTA en su Nodo Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), específicamente la capa que corresponde a anegamiento y vulnerabilidad. La información corresponde a la totalidad de la provincia de Buenos Aires, razón por la cual fue circunscripta a los límites de la cuenca bajo estudio. Dado que constituye una capa en formato vectorial se transformó a ráster para su posterior procesamiento dentro del modelo construido.

En cuanto a la clasificación, se conservó la presentada por el organismo con base al drenaje: áreas con drenaje bueno no presentan riesgo de anegamiento, áreas con drenaje bueno a moderado presentan riesgo leve o bajo, sectores con drenaje moderado cuentan con riesgo moderado, áreas con drenaje imperfecto y moderado a imperfecto presentan un riesgo alto y finalmente, sectores con drenaje imperfecto a pobre presentan un riesgo grave (tabla V).

Tabla V
Clasificación de la variable “drenaje del suelo”

Drenaje del suelo (clasificación INTA)	Categoría de la amenaza	Calificación
Drenaje bueno	Muy baja	5
Drenaje bueno a moderado	Baja	4
Drenaje moderado	Moderada	3
Drenaje imperfecto y moderado a imperfecto	Alta	2
Drenaje imperfecto a pobre	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de INTA (2019)

Elementos meteorológicos

El subfactor de elementos meteorológicos está conformado por los indicadores de temperatura y precipitación. Para su construcción se descargaron datos climáticos por medio

de la plataforma Climate Engine², correspondientes al conjunto de datos Terra Climate. La elección del mismo está dada por la resolución espacial (4 km) y la disponibilidad de datos (2000-2018). La información corresponde a condiciones medias de precipitación, temperatura máxima y mínima en el área de estudio.

Los datos fueron descargados en formato ráster, recortados a los límites de la cuenca y clasificados, de forma tal, que fueran representados los patrones de distribución espacial, tanto de las precipitaciones como de las temperaturas mediante el método de cortes naturales. Con una clasificación de cortes naturales, los valores similares se agrupan atendiendo a los saltos inherentes a estos, es decir, se coloca un límite para separar los grupos donde las diferencias de valores son altas. Este método es útil cuando existen discontinuidades en la serie de datos, como es la insuficiente presencia de estaciones meteorológicas para la totalidad de la cuenca del arroyo Claromecó.

El indicador de temperatura se construyó a partir de la suma ponderada de las variables de temperatura máxima y mínima ante la dificultad de obtener valores promedio. Luego de la clasificación de los elementos meteorológicos, se realizó la suma de los valores y se reclasificó en las cinco categorías de peligro: muy alta, alta, moderada, baja y muy baja dando como resultado el subfactor “elementos meteorológicos”.

Como resultado, las áreas con peligro de anegamiento alto fueron aquellas que presentaban valores altos de precipitación y bajas temperaturas, mientras que las de menor peligrosidad registraron valores altos de temperatura y bajos de precipitación.

Cobertura del suelo

Para establecer la cobertura del suelo del área de estudio, se construyó un índice de vegetación (NDVI) a partir de imágenes Landsat 8 – OLI del día 28 de noviembre de 2018. El índice mide la intensidad de la radiación que emite o refleja la vegetación en ciertas bandas del espectro electromagnético (roja e infrarroja), permitiendo de esta forma diferenciar entre coberturas. El NDVI define valores de -1.0 a 1.0. La escena elegida corresponde al mes de noviembre, momento en el cual el trigo, principal cultivo del área de estudio, se encuentra en floración y espigación. Esta situación permite una mejor

² Plataforma de datos climáticos que trabaja bajo el entorno de Google Earth Engine (GEE). Permite acceder, y descargar, datos climáticos a nivel mundial, así como combinar y procesar variables para generar datos estadísticos. Disponible en: <http://climateengine.org/>

identificación de las coberturas del suelo, para los cuales se tuvo en cuenta los valores presentados por López-Pérez, Martínez-Menes y Fernández-Reynoso (2015).

La peligrosidad va a estar definida por el tipo de vegetación presente en el área, cuanto más densa sea esta menor será la peligrosidad, dado que ello favorece la infiltración. A partir de la lectura de Merg et al. (2011) se re-clasificaron las áreas que no presentaban vegetación como sectores con peligrosidad muy alta, las que presentaban vegetación ligera como peligrosidad alta, con vegetación mediana como peligrosidad media y la vegetación densa como peligrosidad baja (tabla VI).

Tabla VI
Clasificación de la variable “cobertura del suelo”

Coberturas del suelo	Clasificación del NDVI	Categoría de la amenaza	Calificación
Vegetación densa	> 0.4	Baja	4
Vegetación mediana	0.2 – 0.4	Moderada	3
Vegetación ligera	0.1 – 0.2	Alta	2
Suelo sin vegetación	0.01 – 0.1	Muy Alta	1
Agua	< 0.01	-	-

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de Merg et al. (2011)

3.1.1.2. Peligro de sequía

La sequía se caracteriza no solo por ser uno de los eventos meteorológicos más perjudiciales, sino por considerarse el desastre natural que presenta mayor frecuencia y persistencia. Asimismo, constituye un fenómeno complejo presente en casi cualquier parte del mundo, varía en su duración, severidad, tiempo de ocurrencia y extensión espacial. Sumado a ello, un mismo evento puede ser evaluado desde distintos puntos de vista, ya sea por sus causas o por sus consecuencias, los cuales varían en función de los sectores sociales, económicos o medioambientales afectados (Pedroso et al., 2015).

Para Gutiérrez et. al. (2005) la sequía es un fenómeno temporal que resulta de la escasez o mala distribución prolongada de la precipitación, asociado a las alteraciones en el comportamiento de los sistemas meteorológicos que controlan el clima en los niveles de macroescala – mesoescala. Según Durán (1998: 72), la sequía no solo “depende de las escasas o ausentes precipitaciones, también se relaciona con la capacidad de almacenamiento del suelo y la ocurrencia del mismo en relación con el ciclo vegetativo anual” (en Andrade et al., 2009). Dracup (1980), por su parte, define la sequía como “un déficit de lluvia suficientemente intenso y persistente para afectar negativamente a los ecosistemas de una región y reducir la reserva de agua para usos de agua domésticos o energéticos...” (CEDEX, 2013:3)

Existen tantas definiciones como percepciones del fenómeno. La diversidad de elementos vulnerables e impactos que genera en distintos sectores sociales, originan diferentes concepciones de la sequía. A tal efecto, se puede clasificar al evento meteorológico en cuatro tipos principales según su génesis y/o efectos adversos: sequía meteorológica o climática, sequía agrícola, sequía hidrológica y sequía socioeconómica.

La primera se presenta cuando la precipitación es muy inferior a la esperada y la deficiencia hídrica se extiende por un largo período (Ravelo et al., 2014). La definición publicada en el Glosario Internacional de Hidrología de la UNESCO/OMS corresponde a esta categoría, entendida como “la ausencia prolongada, marcada deficiencia o pobre distribución de la precipitación” (Jiménez Martínez, 2011). La intensificación y prolongación en el tiempo de esta clase conduce a la aparición de los otros tipos de sequía (Ravelo et al., 2014).

Según la World Meteorological Organization (1992), hay sequía agrícola “cuando la cantidad de precipitación y su distribución, las reservas de humedad del suelo y las pérdidas debidas la evapotranspiración, se combinan para causar disminuciones considerables en el rendimiento de los cultivos y del ganado” (Somelez Rodríguez et al., 2018). Desde este punto de vista, “un déficit de corta duración, pero con impacto serio en el crecimiento de la planta pasa a denominarse sequía” (CEDEX, 2013).

La sequía hidrológica se produce cuando hay un déficit continuo en la escorrentía de superficie, con un nivel inferior a las condiciones normales y se observa una disminución del nivel de las aguas subterráneas (Ravelo et al., 2014). En este caso, el foco está en el agua y en el insuficiente recurso hídrico para satisfacer las demandas de las sociedades (CEDEX, 2013).

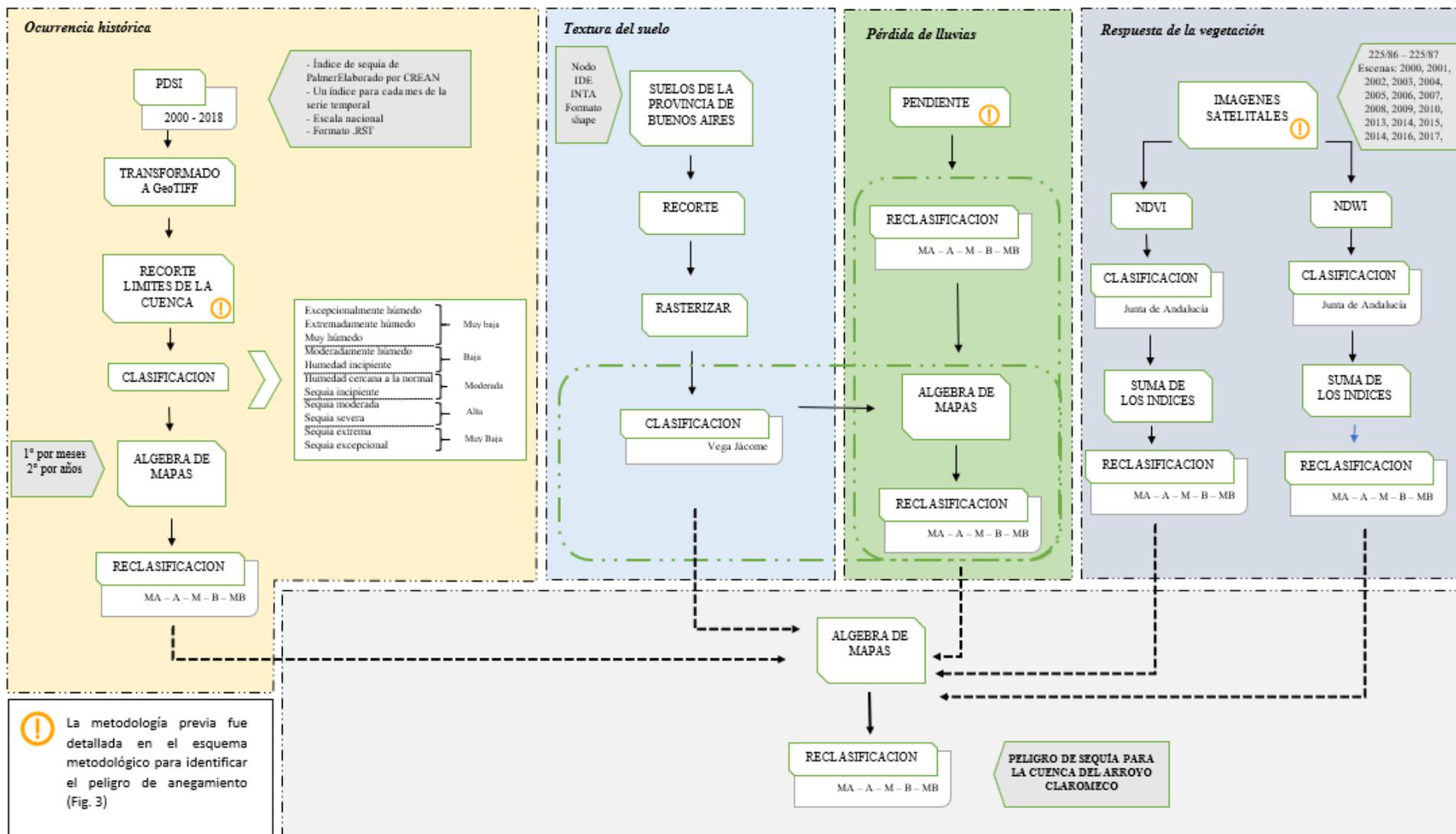
Por último, la sequía socio-económica es aquella relacionada con los efectos de la pérdida de ingreso y productividad de las actividades cuyo insumo principal es el agua (Velasco et al., 2005). Se caracteriza por ser consecuencia de la ocurrencia de los tipos de sequía anteriormente expuestos (Ravelo et al., 2014).

Estos cuatro enfoques han sido favorablemente acogidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y ampliamente divulgados (Dámaso y Delisles, 2016). Sin embargo, Drought (1993) afirma que la “sequía meteorológica es la más importante, por cuanto todos los otros tipos se derivan de la misma” (Dámaso y Delisles, 2016:24). Por otra parte, el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) identifica una quinta

categoría: la sequía atmosférica. Caracterizada por una sequedad excepcional del aire que se refleja en un déficit de vapor de agua, se da cuando ocurren de manera simultánea tres eventos: altas temperaturas, baja humedad e insolación intensa (Gutiérrez et al., 2005).

Teniendo en cuenta los enfoques anteriores y en relación a su adaptación al área de estudio, para determinar el peligro de sequía, en la cuenca del Arroyo Claromecó, se consideró la sequía atmosférica y la sequía agrícola. Para ello, se estableció el Índice de Peligro de Sequías el cual se estimó con base al Índice de Sequía de Palmer, datos de suelo y pendiente e información satelital. Se realizó la ponderación de las variables relacionadas a la ocurrencia histórica, textura de suelo, pérdida de lluvias y el estado de la vegetación mediante la aplicación del Índice de Vegetación (NDVI) y el Índice de Diferencia Normalizada (NDWI). En la figura 5 se detalla el proceso metodológico realizado.

Figura 5
Esquema metodológico del peligro de sequía



Fuente: Arias J., 2021.

Ocurrencia histórica

Para el estudio de la ocurrencia histórica se determinó la recurrencia de la sequía meteorológica, a partir del Índice de Sequía de Palmer (PDSI). La información fue provista por el Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.

El índice de Sequía de Palmer fue desarrollado sobre la base del concepto de demanda-suministro de agua, teniendo en cuenta el déficit entre la precipitación real y la precipitación necesaria para mantener las condiciones de humedad climática normal (CREAN), con el fin de “estimar las condiciones de la humedad edáfica e identificar situaciones de exceso, normalidad o deficiencia hídrica” (Ravelo et al., 2014). El procedimiento de cálculo requiere “los datos de precipitación y temperatura, así como también el contenido de agua disponible en el suelo y el valor del PDSI del periodo anterior” (Rodríguez et al., 2018:16).

Tabla VII
Clasificación de la variable “ocurrencia histórica”

Índice de Sequía de Palmer	Categoría de la amenaza	Calificación
3.00 a 6.00	Muy baja	5
1.00 a 3.00	Baja	4
-2.00 a 1.00	Moderada	3
- 4.00 a -2.00	Alta	2
-6.00 a -4.00	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de Palmer (1965)

Los datos fueron suministrados para cada uno de los meses del periodo de estudio (2000 – 2018) y correspondiente a todo el territorio nacional, de forma tal que se procesó la información para obtener un índice promedio para cada año del área de estudio. Para ello, se transformaron cada uno de los archivos a formato GeoTIFF, se circunscribieron al área de estudio mediante el recorte de cada uno de ellos con los límites de la cuenca del arroyo Claromecó y se agruparon los valores según la clasificación propuesta por Palmer (Fig. 6).

Posteriormente, se realizó la suma de las clasificaciones mensuales para cada uno de los años y de esta manera se obtuvo el promedio de cada año dentro del rango estudiado. Como último paso, para obtener el índice de ocurrencia histórica de sequía

Figura 6
Clasificación del PDSI



Fuente: CREAN, 2020.

meteorológica se sumaron los índices anuales para su posterior re-clasificación según los valores de la tabla VII.

Pese a que es una metodología ampliamente utilizada en la evaluación de las sequías y se elabora de forma mensual, los datos adquiridos corresponden a un recorte de la clasificación nacional y son adquiridos a través de estaciones meteorológicas las cuales no son muy frecuentes en el área de estudio. Es por ello, que se incorporan otras metodologías en el análisis de la amenaza.

Textura de suelos

Para determinar el subfactor de suelos, se procesó la información publicada en el nodo IDE del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria correspondiente a suelos de la provincia de Buenos Aires a escala 1:50.000. Dada la variedad de datos presentes en la capa, se aplicó un filtro para manipular aquella información referente a la textura del suelo. Luego se realizó un recorte de la información a los límites de la cuenca y se transformó a ráster para su clasificación.

Teniendo como base la premisa que, a mayor porcentaje de arena, menor será la capacidad de retención del agua, se aplicó la clasificación para peligrosidad presentada por Vega Jácome (2016). Los resultados se observan en la tabla VIII.

Tabla VIII
Clasificación de la variable “textura del suelo”

Textura del suelo	Categoría de la amenaza	Calificación
Arcilla	Muy baja	5
Franco	Baja	4
Franco limoso	Moderada	3
Limo	Alta	2
Arenosos	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de Vega Jácome (2016)

Pérdida de lluvias

El presente subfactor está integrado por dos indicadores: la textura del suelo que fuera obtenido mediante el cálculo del subfactor precedente y la pendiente. El coeficiente de pérdidas de lluvias es presentado por Pedroso (2015) como variable para la determinación del balance hídrico y el estudio de la peligrosidad de la sequía agrícola.

Las pendientes del área de estudio, identificadas en apartados anteriores, se clasificaron de la siguiente manera: los sectores de la cuenca con pendientes menores a 2% presentan una peligrosidad muy baja, aquellas áreas con pendientes entre 2 y 5% una

peligrosidad baja, moderada si presenta valores entre 5 y 8%, alto con valores entre 8 y 12 % y muy alto con pendientes superiores a 12% (tabla IX).

Tabla IX
Clasificación de la variable “pendiente”

Pendiente (%)	Categoría de la amenaza	Calificación
< 2	Muy baja	5
2 – 5	Baja	4
5 – 8	Moderada	3
8 -12	Alta	2
> 12	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021.

Como último paso, se realizó la suma de los indicadores (textura del suelo y pendiente) para luego ser reclasificado nuevamente en las cinco categorías de peligrosidad adoptadas en esta investigación. De esta forma, los sectores del área de estudio que presentan menor capacidad de retención del agua y mayor pendiente, presentarán una mayor peligrosidad de sequía agrícola.

Respuesta de la vegetación

Existe en la literatura científica, diversos trabajos en los que se utilizan índices de vegetación como metodología para la identificación de la sequía. En tal sentido, Szymula (2014) afirma que las variaciones temporales del índice de vegetación “Normalized Difference Vegetation Index” (NDVI) y del índice “Normalized Difference Water Index” (NDWI) son compatibles con las variaciones de humedad del ambiente y, por lo tanto, pueden ser utilizados en el monitoreo de sequías.

En el caso del NDVI, explicado anteriormente, refleja el contenido de clorofila de la vegetación. Los valores negativos serán representativos de agua, el suelo desnudo tendrá valores entre 0 y 0.15, un bosque o cultivo desarrollado, por su parte, obtendrá valores entre 0.8 y 0.7 (Szymula, 2014). Si la vegetación se encuentra enferma o moderadamente sana presentará valores cercanos a 0.6. Frente a esta situación, se adoptó la clasificación propuesta por la Junta de Andalucía (tabla X).

Tabla X
Clasificación de la variable “estrés hídrico de la vegetación”

NDVI	Categoría de la amenaza	Calificación
> 0.8	Muy baja	5
0.6 – 0.8	Baja	4
0.4 – 0.6	Moderada	3
0.2 – 0.4	Alta	2
0 – 0.2	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de Junta de Andalucía.

En cuanto al NDWI, el índice permite identificar estados de la vegetación como la desecación y la marchitez (CEDEX, 2013) dado que proporciona información sobre el contenido de agua en la estructura interna de los tejidos vegetales. Los valores obtenidos pueden oscilar entre -1 y 1. Es por ello, que el índice responderá con valores altos (próximos a 1) cuanto mayor sea el contenido de agua en la vegetación o en el suelo. Por el contrario, aquellas plantas sin humedad en las hojas o suelos secos contarán con valores negativos (Szymula, 2014). Es, por tanto, “un indicador de sequía más sensible y de respuesta más rápido que el NDVI” (CEDEX, 2013:43). La clasificación de peligrosidad utilizada se presenta en la siguiente tabla:

Tabla XI
Clasificación de la variable “contenido de agua en la vegetación”

NDWI	Categoría de la amenaza	Calificación
0.6 – 1	Muy baja	5
0.2 – 0.6	Baja	4
(-0.2) – 0.2	Moderada	3
(-0.6) – (-0.2)	Alta	2
(-1) – (-0.6)	Muy Alta	1

Fuente: Arias J, 2021 sobre la base de Junta de Andalucía.

Los índices de vegetación se construyeron a partir de imágenes de la misión Landsat (Fig. 3), se sumaron los resultados de cada una y se recortaron a los límites de la cuenca. Como último paso se realizó la clasificación de los valores en función de las categorías propuestas. En cuanto a las imágenes, se seleccionaron escenas posteriores a los meses con menor precipitación (Szymula, 2014), datos que fueron obtenidos de la estación meteorológica del INTA Barrow.

3.1.1.3. Peligro de incendio

El fuego es, según Kopta (1999), “la manifestación de una reacción química exotérmica que se produce cuando se aplica suficiente calor a una sustancia combustible en presencia de oxígeno”. En pocas palabras, un fenómeno físico – químico que emite luz y calor cuando un cuerpo entra en combustión (Kopta en Michalijos, 2018:35).

Para Michalijos (2018) se habla en términos de incendio, cuando el fuego requiere de su extinción. Para ello, uno o más de sus componentes deben ser eliminados: combustible, oxígeno y/o calor. Entre los principales tipos de incendios podemos mencionar el incendio rural, el incendio de interfase y el incendio forestal. El primero de ellos, es el que se desarrolla en áreas rurales, afectando vegetación como matorrales, arbustales y/o pastizales, siendo los factores que influyen en su comportamiento la presencia de elementos

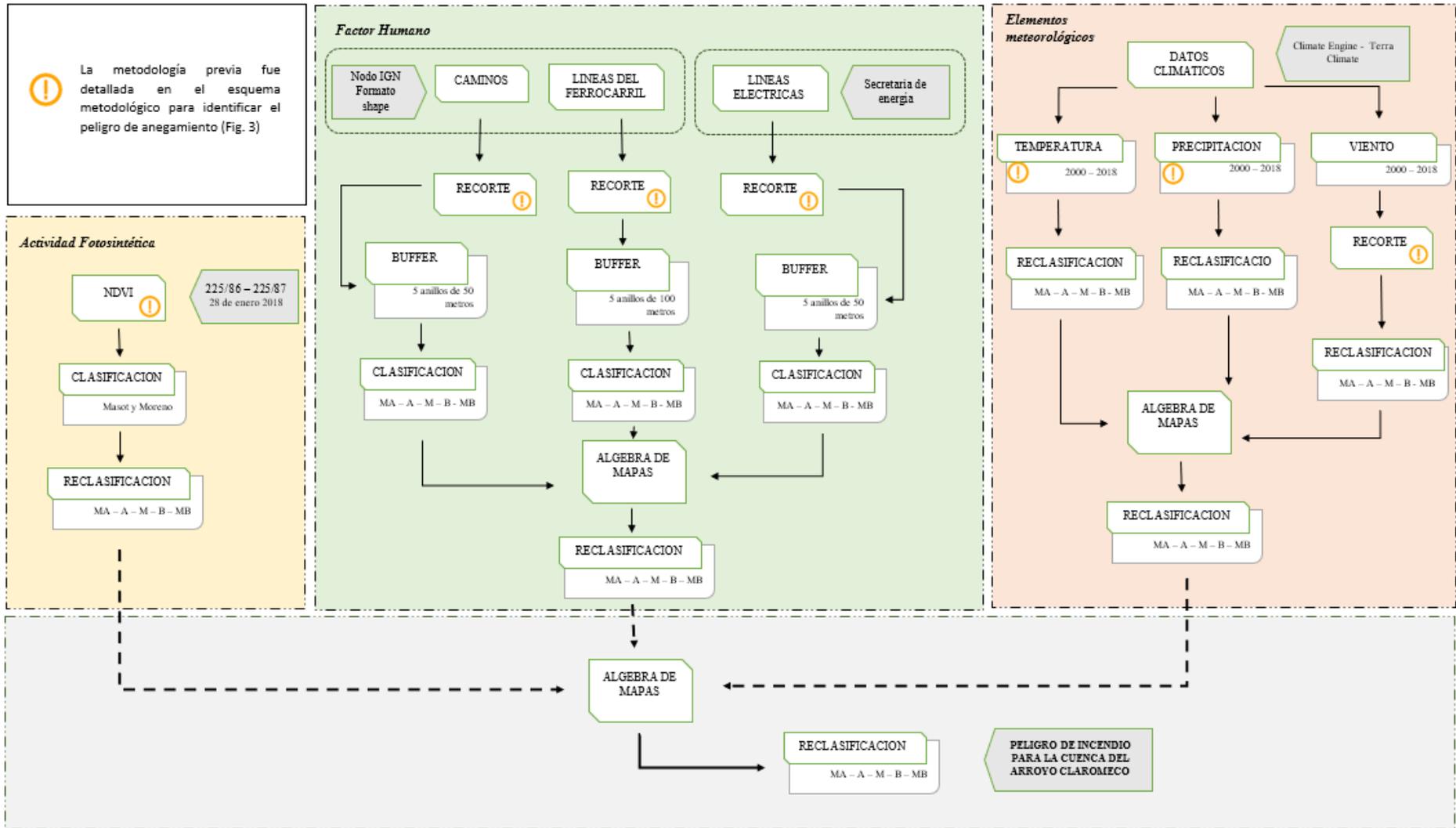
combustibles y las condiciones climáticas (Vélez, 2000 en Michalijos, 2018). El segundo, el incendio de interfase, afecta áreas de transición entre zonas urbanas y rurales, donde las estructuras edilicias se entremezclan con la vegetación (CONAFOR, 2008 en Michalijos, 2018). Por último, el incendio forestal es aquel en el cual el fuego se extiende sin control sobre terreno forestal, afectando a vegetación no agrícola (Vélez, 2000 en Michalijos, 2018).

Los incendios son considerados un agente constante de cambios sobre los paisajes, ya que afectan de manera notable la vegetación, la fauna y el suelo, aumentando el peligro de desertización y generando problemas socioeconómicos (Moraga Peralta, 2010). En el caso del suelo, disminuye la retención del agua y la capacidad de infiltración superficial dando como resultado la reducción de la disponibilidad de agua y un aumento de la escorrentía. Asimismo, los residuos de la combustión van a parar a las corrientes y cuerpos de agua, por lo que disminuye considerablemente su calidad (Morales Salguero, 2017). Por otro lado, un efecto inmediato de los incendios es “la producción, liberación de gases y partículas a la atmósfera que resultan de la combustión de biomasa” (Moraga Peralta, 2010:41)

La variabilidad de ocurrencia tanto espacial como temporal está directamente relacionada con los diferentes agentes y elementos ambientales que intervienen en el incendio, por lo que conocerlos es de vital importancia para tratar de predecirlos, combatirlos o mitigar los daños que pudieran ocasionar (Michalijos, 2018). Sin embargo, “la multitud de parámetros que influyen en su inicio y desarrollo, desde las condiciones de la atmósfera y/o de la vegetación, a parámetros humanos y sociológicos, hacen que sea muy complicado predecir cuándo y dónde ocurrirá y cómo se desarrollará” (San Miguel – Ayanz, 2002 en Vicente y López, 2012).

Para identificar las zonas de la cuenca del arroyo Claromecó que presentan peligro de incendio se aplicó el esquema metodológico de la figura 7. Para ello, se hizo uso de operaciones de álgebra de mapas a partir de los siguientes subfactores: actividad fotosintética, factor humano y elementos meteorológicos. La selección de las variables se realizó con base a una revisión de la literatura y su adaptación al área de estudio. En tal sentido, se decidió no considerar a la topografía como factor decisivo en la elaboración del índice de peligrosidad, dado que la cuenca constituye una planicie elevada que no supera los 250 m.s.n.m., y no presenta grandes pendientes (Sosa et al., 2017).

Figura 7
Esquema metodológico del peligro de incendio



Fuente: Arias J., 2021.

Actividad fotosintética

Todos aquellos materiales vegetales susceptibles a la ignición y a la inflamabilidad, es decir, a través de los cuales es posible el inicio y propagación de incendios se conoce como combustibles (Michalijos, 2018). Dado que el intercambio de humedad de la vegetación con el ambiente, depende de diversos factores como las condiciones del tiempo, la estación del año, el viento, etc. el tipo o especie de vegetación no es relevante para la gestión de incendios (Michalijos, 2018). En tal sentido, la clasificación propuesta se basó en la actividad fotosintética, dado que niveles medios – bajos indican bajo contenido de humedad, lo cual facilita su rápida combustión y, por ende, se queman más intensamente (Masot y Moreno, 2016).

Para estimar la cantidad de biomasa verde, independientemente de las especies que lo conformen, se construyó un NDVI. La actividad fotosintética se estimó a partir de las escenas correspondientes al mes de enero del año 2018, periodo durante el cual se registraron las máximas temperaturas promedio. Los datos de temperatura fueron obtenidos del informe agrometeorológico de la Chacra Experimental Integrada Barrow del INTA. El resultado del NDVI se agrupó en las siguientes clases (tabla XII) según la actividad fotosintética propuesto por Masot y Moreno (2016).

Tabla XII
Clasificación de la variable “actividad fotosintética”

Actividad fotosintética (NDVI)	Categoría de la amenaza	Calificación
0 – 0.1	Muy baja	5
0.1 – 0.2	Baja	4
0.2 – 0.4	Moderada	3
0.4 – 0.6	Alta	2
> 0.6	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de Masot y Moreno (2016)

Factor humano

El peligro de incendio asociado a la actividad humana puede definirse como “la probabilidad de que ocurra un incendio como consecuencia de la presencia y actividad, ya sea directa o indirecta, del hombre” (Martínez, et al., 2004 en Vicente y López, 2012:35). Si bien se conoce la importancia de la influencia del factor humano en los patrones espaciales y temporales de ocurrencia de los incendios, evaluar la acción humana como causante del inicio de un incendio es una tarea compleja (Vicente y López, 2012). Entre las diversas razones, se encuentra la dificultad en evaluar la presencia y actividades humanas en, por ejemplo, las zonas forestales y la imposibilidad de disponer de datos precisos tanto

espaciales como temporalmente (Martell et al., 1987 en Vicente y López, 2012). Las variables que se tuvieron en cuenta en este subfactor fueron: caminos, vías férreas y líneas eléctricas. En los tres casos corresponden a datos lineales, que fueron incorporados al modelo mediante un sistema de información geográfica para su posterior geoprocésamiento. La metodología de trabajo se basó en la descarga de capas de información geográfica desde el geoportal del Instituto Geográfico Nacional (IGN), el control de la calidad de los datos y su adaptación, en el caso de que fuera necesario, al área de estudio y al entorno de trabajo. Posteriormente, se construyeron buffers de distintas distancias dependiendo del tipo de variable y el objetivo de trabajo, se ponderaron los valores y se transformaron a ráster. Como último paso, se establecieron nuevas categorías, a partir de la suma de las tres variables y se reclasificaron en las cinco categorías finales (muy alto, alto, moderado, bajo y muy bajo).

Caminos: 50 metros

Las vías de comunicación condicionan el número y distribución de los agentes potenciales de ignición (Martínez et al., 2012 en Vicente y López, 2012) al suponer un vector de circulación de excursionistas, senderistas, agricultores y personas en general, de modo que se potencia la posible aparición de incendios ya sea por causa de negligencia, accidentes o sucesos intencionales. Asimismo, son consideradas un factor de riesgo de incendios ya que se asocian al tránsito de fumadores (Moraga Peralta, 2010).

En cuanto a la metodología, se construyeron 4 bandas concéntricas alrededor de los caminos con una anchura de 50 metros cada una, por medio de la aplicación de áreas de influencia y los resultados fueron clasificados según los siguientes valores:

Tabla XIII
Clasificación de la variable “caminos”

Distancia a caminos (buffer)	Categoría de la amenaza	Calificación
Más de 200 m	Muy baja	5
150 – 200 m	Baja	4
100 – 150 m	Moderada	3
50 – 100 m	Alta	2
0 – 50 m	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021.

Vías del ferrocarril: 100 metros

Si bien los incendios provocados desde las líneas de ferrocarril, debido a chispazos, constituyen un porcentaje ínfimo con respecto al total, tanto en superficie como en número, son considerados una causa estática y fácil de representar mediante áreas de influencia. Por

esta razón, es una de las variables que mayormente se tiene en cuenta en estudios de peligrosidad de incendios.

Al igual que en la variable anterior, se construyeron 4 áreas de influencia alrededor de las vías de tren, las cuales fueron posteriormente clasificadas (tabla XIV). Si bien la generación de 5 anillos no tiene gran peso en este caso particular, se generaron para su posterior suma con las otras variables y la creación del índice final. En tal sentido, Vicente y López (2012) expresan que la probabilidad de iniciarse un fuego por chispa de tren es mínima superada el área de 100 metros a ambos lados de las vías férreas.

Tabla XIV
Clasificación de la variable “vías férreas”

Distancia a vías férreas (buffer)	Categoría de la amenaza	Calificación
Más de 400 m	Muy baja	5
400 – 300 m	Baja	4
300 -200 m	Moderada	3
200 – 100 m	Alta	2
100 - 0 m	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021.

Líneas eléctricas: 50 metros

Los incendios asociados a las redes eléctricas, principalmente por desprendimientos de cables (caída de líneas eléctricas sobre la vegetación o roce con los árboles) presentan una probabilidad de ignición baja, pero al igual que las vías férreas constituye una causa estática y fácilmente representable.

Numerosos autores han empleado las áreas de influencia alrededor de las líneas eléctricas, identificando las zonas estáticas con mayor riesgo de ignición (Vicente y López, 2012) por lo cual se han generado cinco anillos que se detallan en la tabla XV. Las redes de distribución eléctrica están representadas por las líneas de media y alta tensión publicadas por la Secretaría de Energía de la Nación.

Tabla XV
Clasificación de la variable “red eléctrica”

Distancia a líneas eléctricas (buffer)	Categoría de la amenaza	Calificación
Más de 200 m	Muy baja	5
200 – 150 m	Baja	4
150 – 100 m	Moderada	3
100 – 50 m	Alta	2
50 – 0 m	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021.

Elementos meteorológicos

El estado atmosférico posee una influencia decisiva en el inicio, propagación y frecuencia de los incendios. Si bien es el factor más variable y no puede ser alterado por el hombre, si puede ser un objeto de predicción (Michalijos, 2018).

Las características meteorológicas de una región son determinantes tanto en la predicción como en el desarrollo de un incendio. Los elementos básicos a tener en cuenta son la temperatura, la humedad relativa, las precipitaciones y el viento (Cortes, 2005). La temperatura influye directamente sobre los combustibles desecándolo y aumentando el material muerto; el viento aporta oxígeno y determina la dirección del incendio, contribuye en la desecación de material y origina el desplazamiento de particular que inician nuevos focos y la precipitación determina el comienzo, final y severidad de la temporada de fuego (Álvarez Rogel, 2000 en Michalijos, 2018).

Los patrones de distribución espacial de los elementos meteorológicos y su metodología fueron descritos en el apartado 3.1.1.1.4. Los mismos fueron clasificados en función de su incidencia en el peligro de incendio, luego sumados y nuevamente reclasificados en función de las categorías de peligro aplicadas en esta tesis. Para ello, se trabajó con valores promedios de cada uno de los subfactores, correspondiente a la serie temporal 2000 – 2018, a excepción de la temperatura.

Temperatura (C°)

Según el Ministerio de Medio Ambiente de la República de Colombia (2017), a mayor temperatura mayor es el grado de sequedad del aire y la pérdida de agua en los combustibles, de forma tal que se incrementa la vulnerabilidad ante los incendios forestales (Prado Fajardo, 2014). Boulandier, Esparza, Garayoa, Orta y Anitua (2001) expresan:

“Los efectos de la temperatura, sobre todo cuando es a la vez elevada y persistente, se traducen en una desecación progresiva de la vegetación que puede alcanzar extremos de sequía y en la aparición de corrientes de aire que se elevan desde los suelos caldeados. Tales efectos son naturalmente más acusados en los meses de verano y, dentro de ellos, a mediodía y primeras horas de la tarde” (Boulandier et al., 2001:137).

La clasificación se realizó mediante el método de cortes naturales, a partir de los datos de temperatura máxima en el mes de enero (tabla XVI), periodo que presenta mayores valores promedio (29° C)³ y en el cual es más probable que se inicie un incendio. Asimismo, los incendios en el área de estudio se presentan, en su mayoría, en la localidad balnearia de

³ Dato suministrado por el INTA en su informe agrometeorológico de la estación Barrow.

Claromecó específicamente en la estación forestal, razón por la cual la vulnerabilidad también aumenta durante el verano dado que presenta una mayor afluencia de turistas.

Tabla XVI
Clasificación de la variable “temperatura”

Temperatura promedio (°C)	Categoría de la amenaza	Calificación
< 27	Muy baja	5
27 – 28	Baja	4
28 – 29	Moderada	3
29 – 30	Alta	2
> 30	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021.

Viento (m/s)

Como se mencionó anteriormente la acción del viento se manifiesta en tres formas distintas (Boulandier et al., 2001):

- Renovando el aire y aportando oxígeno a la combustión. Cuanto más fuerte es, más se intensificará.
- Aproximando las llamas a los árboles que aún no arden, adelantando así su quema.
- Desplazando chispas más allá de los límites del incendio, a zonas del monte aún no incendiadas dando origen a nuevos focos.

Por otro parte, al no existir barreras que obstaculicen el efecto del viento sobre el combustible, el mismo siempre se verá afectado por su intensidad. La clasificación (tabla XVII) corresponde al método de cortes naturales a partir de los datos promedio de la velocidad del viento, correspondiente al periodo 2000 – 2018.

Tabla XVII
Clasificación de la variable “velocidad del viento”

Velocidad del viento (m/s)	Categoría de la amenaza	Calificación
< 2	Muy baja	5
2 – 3	Baja	4
3 – 4	Moderada	3
4 – 5	Alta	2
> 5	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021.

Precipitación (mm)

Según Vélez (2000), la precipitación, al igual que la temperatura representa un parámetro de primer orden en la formulación de los índices de riesgo. Esto se debe a que modifican el

contenido de humedad del suelo y la vegetación, incidiendo en la humedad relativa y de los combustibles (Michalijos, 2018).

Tabla XVIII
Clasificación de la variable “precipitación”

Precipitación promedio (mm)	Categoría de la amenaza	Calificación
1500 – 1000	Muy baja	5
1000 – 900	Baja	4
900 – 800	Moderada	3
800 – 700	Alta	2
700 – 600	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021.

Teniendo en cuenta los valores promedio del periodo 2000 – 2018 se clasificó, al igual que en los elementos meteorológicos anteriores, mediante el método de cortes naturales. De esta forma, la peligrosidad asociada a la precipitación aumentó en función que los valores disminúan como se observa en la tabla XVIII.

3.1.1.4. Peligro de erosión costera

Como primer paso, debemos definir el término costa o zona costera. Si bien, en el lenguaje coloquial es un término muy difundido y utilizado, en la literatura científica carece de precisión (Suarez de Vivero, 2005). Para Barragán Muñoz (1994), la zona costera es una “franja de ancho variable resultante del contacto directo interactivo entre la naturaleza y las actividades humanas que se desarrollan en ámbitos que compartan la existencia o la influencia del mar” (Bensey, 2008). En cambio, para Suarez de Vivero (2005:13) puede hacer referencia a la “franja de tierra que bordea el mar o a la zona de contacto entre el medio marino y el medio ambiente”. En tal sentido, Clark (1977) lo define como una amplia banda que en tierra comienza en las llanuras costeras, cuando la topografía es suave, y que culmina en el inicio del talud continental, incluyendo la plataforma continental.

Las zonas costeras constituyen uno de los ambientes más frágiles del hábitat terrestre, en donde se producen importantes problemáticas como consecuencia de la dinámica e interacción entre los componentes naturales y socioeconómicos (Merlotto y Bértola, 2009). Si bien las costas se erosionan cada año de forma natural, principalmente como consecuencia de los temporales para luego ser compensadas con periodos de sedimentación (Wright y Short, 1984), la acción del hombre sobre el medio puede alterar el equilibrio natural, generando nuevos problemas como la erosión costera.

Podemos hablar de erosión costera, como riesgo o catástrofe, cuando el balance sedimentario muestra una tendencia negativa a largo plazo (Carrió et al., 2012). El déficit

sedimentario constituye un problema generalizado, dado que el 70% de las playas del mundo presentan una tendencia neta erosiva a largo plazo (Bird, 1996 en Carrio et al., 2012). En el caso de la provincia de Buenos Aires, representa una problemática presente en numerosos centros urbanos (Merlotto y Bértola, 2009).

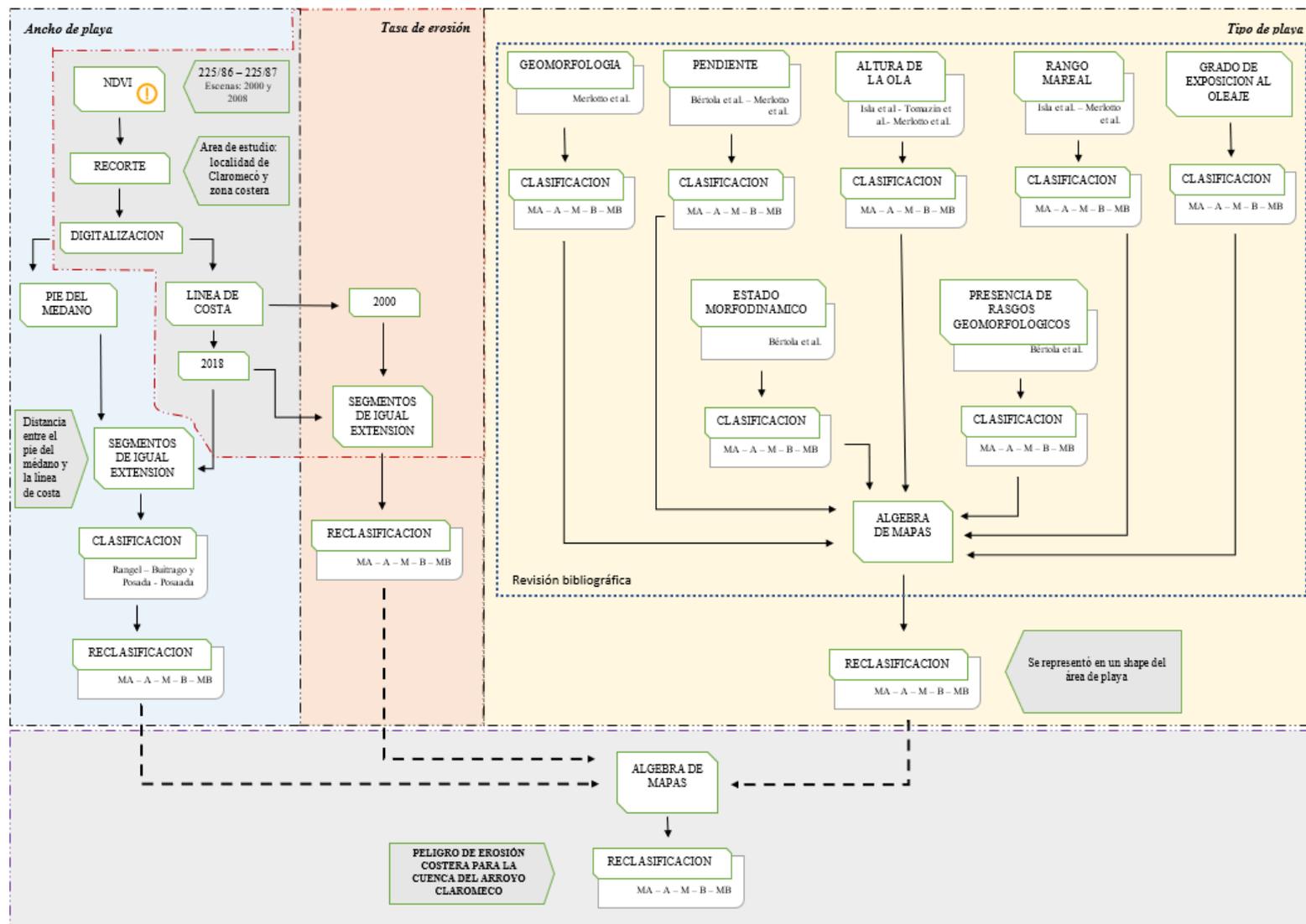
La erosión costera puede llegar a ser un proceso irreversible, causando la pérdida de terrenos y poniendo en peligro recursos económicos y naturales dentro de una zona litoral (Rangel Buitrago y Posada - Posada, 2013). En tal sentido, Merlotto et al. (2017) expresa

“La evolución del riesgo a fenómenos naturales se presenta como una herramienta asociada al manejo costero, destinado a identificar áreas susceptibles de padecer problemas ambientales particulares que necesitan especial atención” (Merlotto et al., 2017: 39).

Para el estudio de la erosión costera se modificó la escala de análisis y se tomó como área de estudio la costa de la localidad de Claromecó. Dado que el área costera de la localidad balnearia es superior a la superficie cubierta por la cuenca (aproximadamente 2.000 metros), se decidió estudiar la peligrosidad en toda el área litoral para luego recortar los resultados a los límites de la cuenca hidrográfica y poder ser relacionados con las variables estudiadas anteriormente.

Para identificar el peligro de erosión costera se elaboró un índice de peligrosidad a partir de los siguientes indicadores: ancho de playa, geomorfología, pendiente, grado de exposición al oleaje, estado morfodinámico, presencia de rasgos geomorfológicos, rango mareal, altura de la ola y tasa de erosión (CVI). En el esquema metodológico de la figura 8 se detalla el proceso de construcción de cada una de las variables que conforman este subfactor.

Figura 8
Esquema metodológico del peligro de erosión costera



Fuente: Arias J., 2021.

Ancho de playa

El ancho, junto a otras características de la playa, puede influir en como esta es afectada por el oleaje, sufriendo diferentes grados de erosión durante las tormentas (Merlotto, 2017). Se tomó como área de estudio desde el pie de los médanos o desde la costanera, dependiendo la intervención humana, hasta la línea de costa del año 2018 (Suarez de Vivero, 2005).

La delimitación de la línea de costa se realizó a partir del límite entre la tierra y el mar identificado por medio de un NDVI (Landsat 8 - Path y Row: 225/87) que posteriormente se transformó en una imagen binaria donde todo lo que era el océano adoptó el valor 0 y todo lo que indicaba continente el valor 1. La metodología fue consultada de Book y Turner (2005), Rodríguez et al. (2013) y Merlotto y Bértola (2009). La elección de la fecha de referencia (02/04/2018), responde a la buena resolución espacial, la ausencia de nubes sobre el área de estudio y la mínima diferencia, entre las escenas estudiadas, entre la hora de adquisición de la imagen y el registro de la bajamar.

El área de playa se dividió en secciones en función de la distancia entre los extremos, es decir, la distancia entre el pie de médanos y la bajamar. Para ello, se obtuvieron segmentos de igual longitud, que posteriormente fueron clasificados (tabla XIX) a partir de los valores propuestos por Rangel Buitrago y Posada - Posada (2013).

Tabla XIX
Clasificación de la variable “ancho de playa”

Ancho de playa (m)	Categoría de la amenaza	Calificación
> 50	Muy baja	5
50 – 25	Baja	4
25 -10	Moderada	3
< 10	Alta	2
Sin playa	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de Rangel Buitrago y Posada – Posada (2013)

Tipo de playa

El subfactor “tipo de playa” se construyó a partir de 7 indicadores (Rangel - Buitrago y Posada Carrió, 2013; Merlotto et al., 2017). La información fue extraída de diversas investigaciones realizadas mediante trabajo de campo en el área de estudio (Isla et al., 2001; Bértola et al., 2009; Merlotto et al., 2017) y se circunscriben a la totalidad de la zona costera de Claromecó. Para construir el factor de peligro de erosión costera se ponderaron cada una de las variables, a partir de su respectiva tabla de clasificación, se sumaron y se reclasificó

el resultado en las 5 categorías de peligro. Los variables estudiadas fueron: geomorfología, pendiente, grado de exposición al oleaje, estado morfodinámico, presencia de rasgos geomorfológicos, rango mareal y altura de la ola.

Geomorfología

Según Merlotto et al. (2017), las características geomorfológicas permiten apreciar la evolución y los cambios en el paisaje y su posible degradación. Para construir el indicador se consideró la resistencia que ofrecen las geoformas costeras frente a la erosión (Nuñez G., 2015). En tal sentido, la mayor peligrosidad se encuentra representada por acantilados activos con plataformas de abrasión, mientras que las playas de arena con médanos vivos, propios del área de estudio, constituyen la menor peligrosidad (tabla XX). Los datos fueron extraídos de Merlotto et al. (2017).

Tabla XX
Clasificación de la variable “geomorfología”

Geomorfología	Categoría de la amenaza	Calificación
Playas de arena con médanos vivos	Muy baja	5
Playas de arena con acantilados bajos y cubiertas por médanos	Baja	4
Playas de arena con acantilados altos y rampas activos	Moderada	3
Acantilados con médanos colgados con escaso desarrollo de playa	Alta	2
Acantilados con plataforma de abrasión y con o sin playa de arena	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de Merlotto et al. (2017)

Pendiente

La pendiente de playa permite evaluar el riesgo relativo de inundación y la potencial rapidez del retroceso de la costa (Rangel – Buitrago y Posada – Posada, 2013; Aguilar Lynch, 2015). El grado en que las olas afectan a la playa dependerá, en gran medida, de la pendiente (Merlotto, 2017). En tal sentido, las zonas costeras con poca pendiente retrocederán más rápido que aquellas de mayor inclinación (Aguilar Lynch, 2015) dado que, en caso de inundación por subida del nivel del mar, el área afectada y la rapidez del proceso de la línea de costa será mayor (Martí López, 2011).

Para su estudio, se tiene en cuenta la pendiente de la playa frontal, entendida como la relación entre el desnivel existente entre la cresta de la berma de playa (máxima altura a la que llegan las pleamares) y las bajamares y la distancia horizontal entre ambos puntos

(Merlotto, 2017). La misma fue expresada en grados y clasificada según su intensidad (tabla XXI). Los datos fueron extraídos de Bértola et al. (2009) y Merlotto et al. (2017).

Tabla XXI
Clasificación de la variable “pendiente”

Pendiente (grados)	Categoría de la amenaza	Calificación
> 8	Muy baja	5
6 – 8	Baja	4
4 – 6	Moderada	3
2 – 4	Alta	2
0 – 2	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de Merlotto et al. (2017)

Grado de exposición al oleaje

El oleaje es el principal fenómeno que afecta las playas. Tanto el normal como el extraordinario pueden ser responsable de la erosión presente en la costa, a partir del control en el transporte longitudinal y perpendicular de los sedimentos (Bolongaro, 2014). Es por ello, que es importante estudiar el grado de exposición que tiene la costa al oleaje, teniendo en cuenta si presenta obstáculos que interfieran la acción de las olas. El indicador se clasificó en función de la incidencia del oleaje, ya sea directo o indirecto (tabla XXII).

Tabla XXII
Clasificación de la variable “grado de exposición al oleaje”

Grado de exposición al oleaje	Categoría de la amenaza	Calificación
Con obstáculos – oleaje indirecto	Muy baja	5
-	Baja	4
Medianamente resguardada	Moderada	3
-	Alta	2
Sin obstáculos – oleaje directo	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de Rangel – Buitrago y Posada – Posada (2013)

Estado morfodinámico

Para determinar el estado morfodinámico de una playa, se tiene en cuenta parámetros como “la altura de ola de rotura y periodo asociado, la pendiente de la zona de surf (zona de asomeramiento), el tipo de sedimentos que componen el lecho marino y la velocidad de sedimentación, la influencia y rango las mareas y los cambios en el perfil de las playas” (Pintado, 2015:165). Con base a ello, se clasifican las playas en reflectivas, disipativas e intermedias.

Las playas reflectivas presentan oleaje poco energético, sedimentos gruesos y una playa frontal uniforme con pendiente pronunciada; las playas disipativas tienen pendiente suave y arenas finas o medias, presentan varias barras y las olas rompen en derrame; entre

ambos estados se encuentran playas con arenas finas a medias, con una o dos barras y altura de ola medias (Merlotto et al., 2013).

Tabla XXIII
Clasificación de la variable “estado morfodinámico”

Estado morfodinámico	Categoría de la amenaza	Calificación
Reflectivo	Muy baja	5
-	Baja	4
Intermedio	Moderada	3
-	Alta	2
Disipativo	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de Rangel – Buitrago y Posada – Posada (2013)

Teniendo en cuenta que las playas disipativas presentan un nivel de energía de las olas generalmente alto (López Úbeda, 2016) y abundante arena de grano fino (Guisado Pintado et al., 2015), condiciones que favorecen el transporte de sedimentos, la mayor peligrosidad está representada por las zonas costeras con una morfodinámica disipativa y la de menor peligrosidad las que presentan un estado reflectivo (tabla XXIII). Los datos fueron extraídos de Bértola et al. (2009).

Presencia de rasgos geomorfológicos

La presencia de rasgos geomorfológicos puede indicar, en cierta medida, el grado de estabilidad o inestabilidad de la línea de costa (Molina et al., 1998). En tal sentido, la peligrosidad aumenta a medida que se identifican rasgos geomorfológicos es una costa (tabla XXIV). La erosión costera puede estar representada en la presencia de rasgos como acantilados, pilares, cavernas, arcos, plataformas de abrasión, cuevas, entre otros. Los datos fueron extraídos de Bértola et al. (2009)

Tabla XXIV
Clasificación de la variable “presencia de rasgos geomorfológicos”

Rasgos geomorfológicos	Categoría de la amenaza	Calificación
Sin rasgos	Muy baja	5
-	Baja	4
1 – 2 rasgos	Moderada	3
-	Alta	2
+ 2 rasgos	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de Rangel – Buitrago y Posada – Posada (2013)

Rango mareal

El ascenso y descenso rítmico del nivel del mar por acción de las fuerzas de atracción del sol y la luna sobre la tierra es conocido con el nombre de marea. Para estudiar la erosión costera se tiene en cuenta el rango de marea, es decir, la diferencia vertical existente entre la pleamar (altura máxima) y la bajamar (altura mínima). Para Martí López (2011), la marea

actúa como agente modulador de los demás agentes costeros, produciéndose de forma combinada con ellos.

Tabla XXV
Clasificación de la variable “rango mareal”

Rasgo mareal	Categoría de la amenaza	Calificación
Micromareal	Muy baja	5
-	Baja	4
Mesomareal	Moderada	3
-	Alta	2
Macromareal	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de Rangel – Buitrago y Posada – Posada (2013)

La mayor peligrosidad va a estar representada por rangos mareales superiores a los 4 metros (macromareal) dado que, a mayor amplitud de marea, más elevado es el nivel en que las olas alcanzan la playa, los médanos o acantilados y se produce una mayor erosión de los mismos (Merlotto et al., 2017). Asimismo, un mayor rango mareal delimita una zona intermareal más amplia, susceptible a inundación tanto permanentes como episódicos (Ibarra, 2020; Martí López, 2011). La amenaza está clasificada (tabla XXV) de modo que las costas micromareales, con rangos menores a los 2 metros, presentan baja peligrosidad frente a las costas macromareales que exhiben una peligrosidad muy alta. Los datos fueron extraídos de Isla et al. (2001) y Merlotto et al. (2017).

Altura de la ola

Las olas constituyen la principal fuente de energía en las zonas costeras, son las responsables de la erosión y de la formación de playas y geoformas acumulativas (Merlotto et al., 2017). Como sustituto de la energía del oleaje, se utiliza la altura de la ola, dado que la energía de ola es proporcional al cuadrado de la altura de la ola (Martí López, 2011).

La energía del oleaje es el “mecanismo encargado del transporte sedimentario” (Martí López, 2011). Por ello, cuanto mayor sea la energía del oleaje representado en la altura de la ola, mayor será la capacidad de movilizar y transportar sedimentos. Para este indicador, se tiene en cuenta la altura media de ola en rompiente, donde la mayor peligrosidad va a estar representada por alturas superiores a 1,3 metros, y la menor amenaza por alturas menores a 0,7 metros (tabla XXVI). Los datos fueron extraídos de Isla et al. (2001), Tomazin et al. (2020) y Merlotto et al. (2017).

Tabla XXVI
Clasificación de la variable “altura de ola”

Altura de la ola (metros)	Categoría de la amenaza	Calificación
< a 0.7	Muy baja	5
0.71 a 0.9	Baja	4
0.91 a 1.1	Moderada	3
1.11 a 1.3	Alta	2
> a 1.3	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021 sobre la base de Merlotto (2017).

Tasa de erosión

Este indicador representa la dinámica y evolución del proceso erosivo a partir del desplazamiento de la línea de costa (Merlotto et al., 2017). Es la única variable que no mide el efecto de un agente o característica del sistema sobre la erosión, sino que es la propia medida del impacto (Martí López, 2011).

Para Aguilar Lynch (2015), la línea de costa es la “representación del encuentro entre la tierra y el mar”, pero de difícil definición. Esto se debe a la variabilidad natural de las playas (Bértola et al., 2009), ya que el límite no es estable y se encuentra en constante movimiento (Aguilar Lynch, 2015).

Los cambios horizontales, avances y retrocesos, se identificaron mediante la detección automática de la línea de costa a partir de imágenes satélites. Para ello se construyeron dos NDVI: uno de la imagen satelital del año 2000 y otra del año 2018 (ver metodología en el apartado 3.1.1.4.1) y se delimitó la línea de costa para cada fecha. Se tuvo en cuenta los comportamientos espectrales de las diferentes coberturas con relación a la del agua (Rodríguez et al., 2013).

Para establecer si la línea de costa permaneció estable, retrocedió o avanzó se calculó la distancia entre la primera y la última línea de costa. La distancia entre ambas fue delimitada por medio de un polígono, que luego fue dividido en segmentos de igual longitud. Los recortes fueron clasificados en función de su extensión y la posición de las líneas de costa.

Tabla XXVII
Clasificación de la variable “tasa de erosión”

Tasa de erosión (m)	Categoría de la amenaza	Calificación
> 30	Muy baja	5
0 – 30	Baja	4
0	Moderada	3
0 – (-30)	Alta	2
< (-30)	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021.

En la tabla XXVII se presenta la clasificación utilizada. Si la costa permaneció estable o avanzó, el indicador es muy bajo. Por el contrario, si la línea de costa retrocedió, la categoría del indicador será entre baja y muy alta. El mismo dependerá del valor de la tasa registrada, es decir, de la distancia entre la primera (2000) y la última línea de costa registrada (2018).

3.1.2. Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad

Para el análisis de la vulnerabilidad, se dividió el área de estudio a partir de las regiones presentadas en “La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio”⁴. Las categorías utilizadas (áreas costeras, áreas cultivadas y áreas urbanas) contienen cierto número de ecosistemas. Cada una tiene factores biológicos, climáticos y sociales que, por lo general, difieren entre categorías. A partir de ello, se determinó la vulnerabilidad de cada peligro estudiado en función de la categoría, es decir, se clasificó la vulnerabilidad de anegamiento, sequía, incendio y erosión costera teniendo en cuenta la influencia de las amenazas en cada una de las regiones. Como último paso, se realizó la suma de las cuatro vulnerabilidades y se reclasificaron los resultados de forma tal que se expresó la vulnerabilidad total del área por medio de las cinco categorías utilizadas en esta investigación.

- Vulnerabilidad al peligro de anegamiento

Dependiendo de la intensidad y la duración de los eventos de anegamiento y/o inundación, las consecuencias varían entre las regiones y al interior de estas. Entre los problemas relacionados con la vulnerabilidad frente al peligro de anegamiento se pueden mencionar: la interrupción de servicios territoriales básicos, el aislamiento de la población, las dificultades de socorro y asistencia, la afección de bienes o elementos del territorio, la generación de pérdidas tanto humanas como materiales, la transmisión de algunas enfermedades y la dificultad de la población, en algunos casos, para la recuperación tras el impacto (Barrionuevo y Roselló, 2017).

En el caso de las áreas urbanas, son consideradas lugares de alto riesgo dado que la concentración de los hombres constituye una primera fuente de aumento de la vulnerabilidad (Arranz Lozano, 2008). Asimismo, la autora indica las causas por las cuales la urbanización

⁴ La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM) es un programa de trabajo internacional diseñado para satisfacer las necesidades que tienen los responsables de la toma de decisiones y el público general, de información científica acerca de las consecuencias de los cambios en los ecosistemas para el bienestar humano y las opciones para responder a esos cambios. (<https://www.millenniumassessment.org/es/index.html>)

multiplica los daños que pueden originar las precipitaciones intensa: una extensión considerable de suelo urbano con débil coeficiente de retención debido al incremento del agua de las arroyadas y la rapidez del fluido que se convierten en “cauces” asfaltados; y la generación de fuertes caudales, producto de precipitaciones intensas, que no pueden evacuar normalmente por salidas naturales o artificiales, ya sea porque dichas salidas no están limpias, se encuentran colmatas o por la presencia de construcciones que actúan como obstáculos (Arranz Lozano, 2008).

En el caso de las áreas rurales, las inundaciones y anegamientos de llanura dado que se caracterizan por ser de pequeña profundidad y larga duración, causan pérdidas como consecuencia de la suma de varios efectos (Villanueva, Cazenabe y Bilello, 2009). Entre ellos se puede mencionar: destrucción de cultivos, aumento de plagas, afectación del ciclo vegetativo, arranque de árboles, daños a la propiedad privada, pérdida de fertilidad y arabilidad de suelos agrícolas, anegamiento de caminos y aislamiento de poblaciones rurales (Ferrando, 2006).

Para clasificar la variable se consideraron los efectos que generan los eventos de anegamientos e inundaciones en función de las categorías analizadas, y las consecuencias de eventos particulares en el área de estudio. En la tabla XXVIII, se presentan las categorías para la variable “vulnerabilidad al peligro de anegamiento”.

Tabla XXVIII
Clasificación de la variable “vulnerabilidad al anegamiento”

Región	Categoría de la vulnerabilidad	Calificación
Áreas costeras	Muy baja	5
Áreas cultivadas	Moderada	3
Áreas urbanas	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021.

- **Vulnerabilidad al peligro de sequía**

Los efectos de la sequía pueden darse a corto y a largo plazo. Si bien afecta principalmente las actividades productivas de las áreas rurales, también se ven perjudicadas las “actividades industriales básicas y el bienestar y la salud de los habitantes de las comunidades rurales y urbanas” (Dámaso y Batista, 2016). Las consecuencias, según Velazco (2007) se “magnifican en función del tiempo y la extensión geográfica, con resultados progresivamente nefastos para casi todas las actividades humanas” (en Andrade, 2008).

A modo de resumen, los efectos de la sequía pueden ser los siguientes (Ferrelli y Aliaga, 2015; Damaso y Batista, 2016; Gutiérrez et al., 2005):

- Disminución de las áreas cultivadas, estrés en los cultivos que impiden su normal desarrollo, pérdida de cosechas anuales y perennes, daño a la calidad de las cosechas, productividad reducida de las tierras de cultivo, aumento de la incidencia de plagas de insectos y enfermedades y limitación de opciones de riego por insuficiencia de agua.
- Disminución de las áreas destinadas a las pasturas, reducción del ganado, costo elevado o no disponibilidad de agua para la ganadería, deterioro en índices de productividad (fertilidad, peso, edad de matanza), costos extraordinarios por alimentación, agua y traslado de animales.
- Pérdida o disminución de la producción de madera, incendios forestales, enfermedades de los árboles, plagas de insectos; pérdida de peces y otros organismos por disminución de los flujos de agua y daño del hábitat.
- Pérdida en las industrias directamente relacionadas con la producción agrícola, aumento del precio de los alimentos, pérdida de biodiversidad, disminución de las aguas subterráneas y de la calidad de las aguas, problemas de abastecimiento de agua.

Teniendo en cuenta lo anterior, se clasificó la variable de vulnerabilidad al peligro de sequía. En la tabla XXIX se presentan las categorías de análisis.

Tabla XXIX
Clasificación de la variable “vulnerabilidad a la sequía”

Región	Categoría de la vulnerabilidad	Calificación
Áreas costeras	Muy baja	5
Áreas urbanas	Moderada	3
Áreas cultivadas	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021.

- Vulnerabilidad al peligro de incendio

Los incendios causan problemas en los diferentes ecosistemas, algunos de ellos de difícil recuperación. El fuego altera la composición de la vegetación, suelo, fauna, procesos hidrológicos, calidad de las aguas y composición de la atmósfera (Michalijos, 2018).

Para Peralta (2010) las áreas quemadas pierden calidad del suelo, dado que el fuego afecta los primeros horizontes edáficos y destruye los componentes orgánicos, eso hace que sean más solubles en agua y sea difícil la regeneración de las especies. Después del incendio, el suelo queda ennegrecido por las partículas carbonizadas lo que hace que aumente la

temperatura y la evaporación, disminuye la absorción y retención del suelo, así como la porosidad, aireación y capacidad de infiltración superficial (Morales Salguero, 2017).

Entre los efectos socioeconómicos y ecológicos derivados de los incendios Castillo, Pedernera y Pena (2003) y Morales Salguero (2017) mencionan: daños a la propiedad pública y privada; pérdida de vidas humanas; afectación o pérdida de viviendas, deterioro de la calidad de vida, contaminación de suelos, agua y atmósfera; pérdidas económicas directas (cultivos forestales, cosechas agrícolas, maquinaria e infraestructura asociada a actividades productivas); pérdida, paralización o postergación de los procesos productivos; cambios a pequeña y gran escala en el clima, aumento de la escorrentía superficial, destrucción y variación del paisaje, pérdida de hábitats, flora y fauna.

Teniendo en cuenta las consecuencias derivadas de los incendios y las características del área de estudio se establecieron las categorías para la variable “vulnerabilidad al peligro de incendio”. Las mismas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla XXX
Clasificación de la variable “vulnerabilidad al incendio”

Región	Categoría de la vulnerabilidad	Calificación
Áreas costeras	Muy baja	5
Áreas cultivadas	Moderada	3
Áreas urbanas	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021.

- Vulnerabilidad a la erosión costera

El problema de la erosión costera puede llegar a ser un proceso irreversible, dado que puede causar la pérdida de terrenos y poner en peligro recursos, tanto económicos como naturales, de una zona litoral (Rangel – Buitrago y Posada – Posada, 2013). Aguilar Lynch (2016:21) sostiene que las “zonas costeras son de extrema importancia, puesto que contienen ecosistemas integrales e interdependientes, tanto marinos como continentales, que deben convivir con grandes poblaciones humanas”.

El desgaste de la zona costera implica efectos socioeconómicos a nivel local, dado que afecta los “asentamientos humanos costeros, la industria turística y el desarrollo a nivel regional” (Aguilar Lynch, 2016:22). Asimismo, Merlotto y Bértola (2007) consideran que la pérdida de lotes y viviendas afecta tanto a los propietarios de los inmuebles, como a los municipios que ven disminuir la recaudación de impuestos y tasas por una reducción de la superficie administrativa.

La erosión costera no solo amenaza estructuras antrópicas, también reduce la capacidad de carga turística – recreativa de las playas (Rangel – Buitrago y Posada – Posada, 2013). En una localidad especializada en el turismo de sol y playa, la erosión costera puede afectar el recurso natural valorizado con función turística, a partir de la reducción en la superficie de playa y una disminución en la calidad del servicio (Benseny, 2008).

A partir de los efectos de la erosión costera y las características del área de estudio se clasificó la vulnerabilidad. Para la variable “vulnerabilidad al peligro de erosión costera” se definieron las siguientes categorías:

Tabla XXXI
Clasificación de la variable “vulnerabilidad a la erosión costera”

Región	Categoría de la vulnerabilidad	Calificación
Áreas urbanas	Muy baja	5
Áreas cultivadas	Muy baja	5
Áreas costeras	Muy Alta	1

Fuente: Arias J., 2021.

CAPÍTULO 4: Determinación del peligro asociado a los fenómenos identificados.

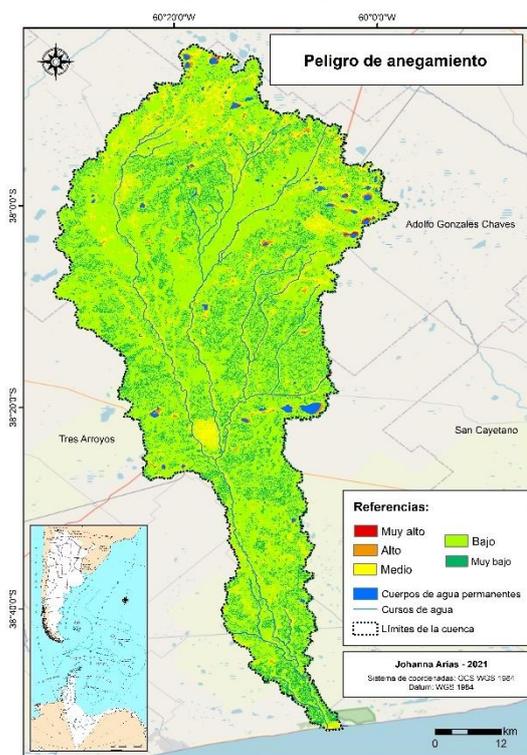
4.1. Diagnóstico y análisis del grado de peligro de anegamiento

La identificación del peligro de anegamiento es clave en áreas llanas dado que provoca serios problemas ambientales. En la figura 9 se presenta el peligro de anegamiento en la cuenca. En la misma se observa una peligrosidad entre baja y muy baja. Sin embargo, es posible identificar sectores que presentan una peligrosidad entre moderada y alta los cuales corresponden a:

- Cuenca alta: en el área lagunar del norte de la cuenca existen severos problemas de encharcamiento, principalmente ante la formación de lagunas temporarias y un deficiente drenaje superficial.
- Área de influencia de los cursos de agua y lagunas permanentes: se observa un aumento de las superficies lagunares y el desborde de los arroyos. Ejemplo de ello es la laguna del Arenal que inhabilitó la ruta 228 durante las precipitaciones del año 2002.

La topografía, la existencia de pendientes con orientaciones opuestas al sentido de la cuenca hidrográfica, la presencia de suelos con un deficiente drenaje superficial, las situaciones de hidromorfismo y una distribución de las precipitaciones que aumentan en la cuenca alta, permiten que el agua precipitada quede retenida en la cuenca por colmatación del sistema lacustre o por exceso de agua en el suelo, lo que deriva en situaciones de anegamientos. Para García Martínez (2008), la cuenca hidrográfica del arroyo Claromecó es una cuenca deficitaria desde el punto de vista hidrológico. Esto se debe a que un gran porcentaje del agua que ingresa en el sistema no es evacuado por medio del escurrimiento superficial, sino mediante infiltración y percolación hacia los acuíferos. Cuando estos

Figura 9
Peligro de anegamiento



Fuente: Arias J., 2021

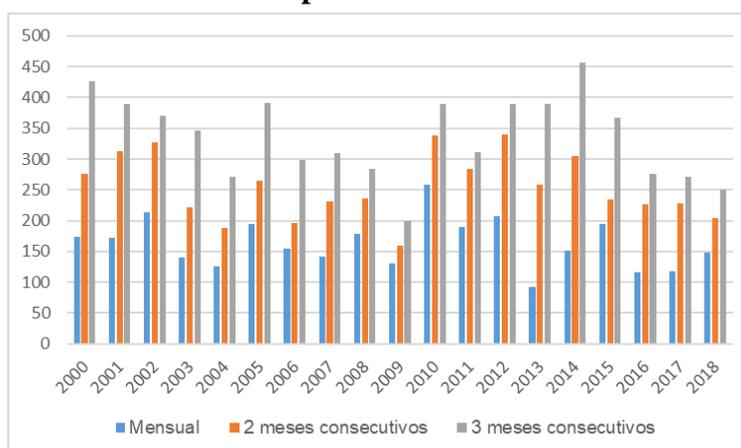
procesos son insuficientes para drenar los excesos de agua se producen fenómenos de anegamientos, los cuales se presentan con una asiduidad menor a los 2 años.

Cálculo de la frecuencia de anegamiento

La frecuencia de anegamiento supone el reemplazo de partículas de aire del suelo por agua y esto tiene consecuencias graves en la vegetación. En la figura 10 se observa que, de los 18 años estudiados, la máxima precipitación (258mm) se registró en el mes de febrero del 2010 y la mínima (92mm) en abril de 2013. Con respecto a los meses acumulados, el año que presenta máxima precipitación con 2 meses consecutivos coincide con el año de máxima precipitación mensual, con 339mm, no así la que corresponde a tres meses consecutivos. El mismo se registra en el 2014 con valores que superan los 450mm, menos de 310mm para menos de 2 años y más de 400mm para periodos de más de 15 años.

En referencia al estudio de las imágenes satelitales, la mayor cantidad de píxeles (pxs) con presencia de agua corresponden al año 2001 (12.137,76ha), mientras que la menor cantidad se da en 2009 (1.354,14ha). Si bien no hay una correlación entre los máximos valores de precipitación mensuales

Figura 10
Precipitación máxima



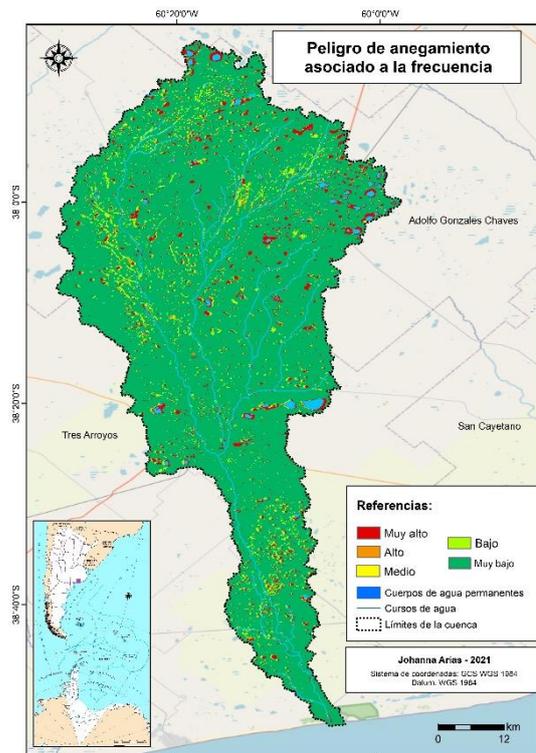
Fuente: Arias J., 2021

analizados con los datos hidrometeorológicos y los píxeles anegados en las imágenes satelitales, si existe una relación entre las superficies anegadas y el análisis de los datos de precipitación acumulados.

A partir de la determinación de los pxs con presencia de agua para cada una de las imágenes, y con base a la clasificación de la tabla II, se determinaron las áreas con peligrosidad severa, alta, media y baja. El primero corresponde a pxs que se presentan inundados con una recurrencia menor a dos años, el segundo a pxs inundados con una recurrencia entre 2 y 5 años, el tercero entre 5 y 15 años y el ultimo mayores a 15 años (Fig.

11). Las áreas que presentan peligro de anegamiento severo tienen gran presencia en el área de estudio cubriendo una gran distribución de la cuenca hidrográfica. El 68% de las superficies anegadas cuentan con una recurrencia menor a los dos años. La cuenca alta tiene las mayores superficies con presencia de anegamientos, mientras que en la cuenca media la amenaza está asociada principalmente al crecimiento de los cuerpos lagunares próximos a la ciudad de Tres Arroyos. En cuanto a la cuenca inferior los sectores anegados se concentran principalmente en la sección central con una superficie relativamente menor. Las zonas con peligrosidad muy alta, en algunos casos, corresponden a lagunas temporales o lagunas permanentes que exceden sus límites. En otros casos, constituyen una lámina de agua que se extiende sobre algunas hectáreas.

Figura 11
Peligro de anegamiento asociado a la frecuencia



Fuente: Arias J. 2021

Las superficies con frecuencia de anegamiento menor a los 5 años son escasas (menos del 2% de las superficies anegadas), están dispersas y no cubren grandes superficies. Las áreas con peligrosidad alta se localizan, principalmente, en las nacientes del arroyo del Medio y en cercanías al curso medio del arroyo Orellano. Las áreas anegadas con una asiduidad menor a los 15 años y mayor a los 5 años están dispersas entre sí y cubriendo superficies pequeñas, principalmente en la cuenca alta o asociada al crecimiento de grandes lagunas de régimen permanente. Estas superficies corresponden al 1,2 % de todas las áreas que presentaron anegamientos.

Las áreas de peligrosidad baja, al igual que los sectores con peligrosidad muy alta, cubren un gran porcentaje de la cuenca. El 29% de las superficies con presencia de agua registraron una asiduidad mayor a los 15 años. Si bien el tiempo de recurrencia para que se desarrolle este fenómeno es el de menor frecuencia, el mismo está asociado a eventos lluviosos extremos o un periodo de lluvias prolongado que colmata la capacidad de retención

del suelo. Como consecuencia, las áreas anegadas cubren superficies mayores lo que deriva en un incremento de los perjuicios para la población y sus actividades económicas y sociales.

La distribución espacial de las áreas con peligrosidad baja es amplia en toda la cuenca. Sin embargo, existe una tendencia a la concentración espacial en ciertas secciones. En la cuenca alta, se centran en las nacientes de los arroyos con principal énfasis en el arroyo Orellano. La disposición y forma de las áreas anegadas indican una predisposición del agua a ser evacuada por escorrentía superficial, siendo encauzadas hacia los cursos de agua. Sin embargo, la cuenca es deficiente para drenar todos los excedentes hídricos. El aumento de los cuerpos lagunares, así como el surgimiento de nuevas áreas anegadas llegan a formar rosarios de lagunas interconectadas (Carbone y Piccolo, 2010). Asimismo, existe una tendencia al encharcamiento en el centro de la cuenca inferior ante periodos húmedos.

Los ambientes de llanura, como la cuenca bajo estudio, son sensibles ante eventos de excedentes hídricos, dado que son incapaces de evacuar grandes volúmenes de agua lo que deriva en recurrentes y persistentes fenómenos de anegamientos (Carbone, 2003). En ese sentido, Carbone y Piccolo (2010) indican que el agua excedente en la cuenca alta del arroyo Claromecó permanece en el sector por más de 5 días hasta que se evapora o se infiltra, en condiciones normales. Esto indica una tendencia a la acumulación de agua en superficie, que se ve reflejada en un número considerable de sectores con una peligrosidad muy alta asociada a la frecuencia.

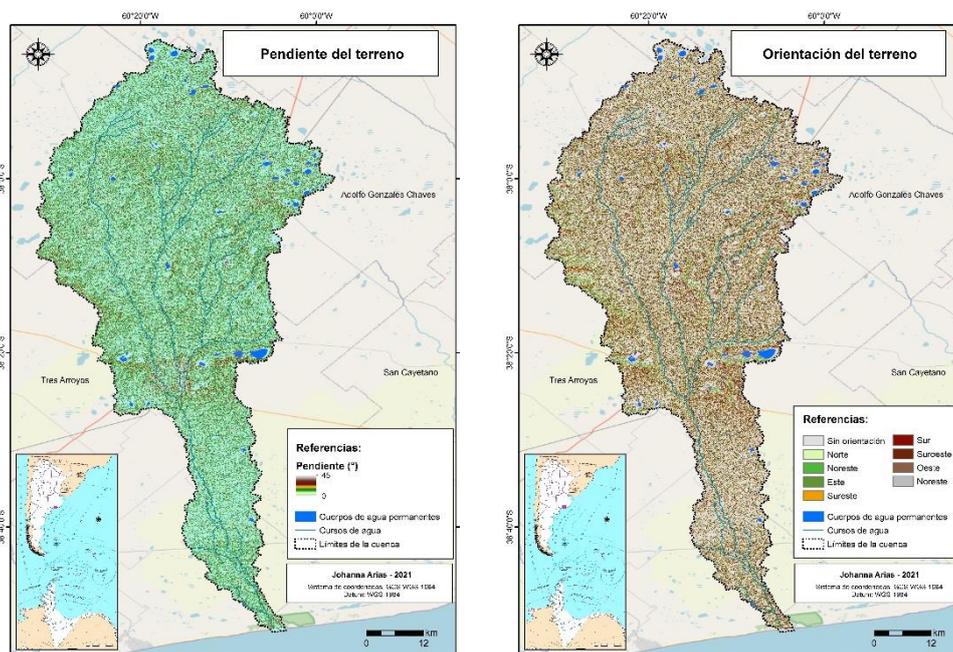
Teniendo en cuenta que el anegamiento de un área de llanura, en general, se extiende sobre muchas hectáreas como una lámina con poco movimiento vertical y gran permanencia (Cazenave y Villanueva, 2009), el análisis de la frecuencia de píxeles inundados, constituye una metodología útil para el estudio de la dinámica de expansión y contracción de la cobertura de agua en superficie.

En tal sentido, se deben tener en cuenta el error de omisión y comisión e incertidumbre para identificar áreas anegadas. Entre ellos se puede mencionar la presencia de líneas o franjas que pueden corresponder a hileras de árboles o canales que son identificados como agua, así como la identificación de cascos urbanos o áreas con alto contenido de humedad como superficies anegadas.

La topografía y los indicadores que la componen en relación a los anegamientos

Los indicadores de orientación del terreno y pendiente (Fig. 12), se construyeron a partir de un modelo digital de elevación en el cual los valores fueron clasificados según los valores de las tablas III y IV. En general, la cuenca del arroyo Claromecó se caracteriza por la escasez de pendiente, las cuales alcanzan sus valores máximos en “las cadenas de lomadas que se extienden desde la ciudad de Tres Arroyos hasta la estación de San Mayol” (Carbone y Piccolo, 2010:35). Bajos valores de pendiente contribuyen a la acumulación de agua en superficie, dado que limitan su desplazamiento horizontal. En cuanto a la orientación de las mismas, predominan aquellas con disposición hacia el norte, el este y las que no cuentan con orientación. Dado que la pendiente general de la cuenca tiene orientación hacia el sur, los sectores en los que se registra la dirección contraria son categorizados con una peligrosidad alta, dado que favorecen el anegamiento y actúan como obstáculos naturales ante el escurrimiento superficial.

Figura 12
Indicadores de la variable “topografía”



Fuente: Arias J., 2021

En vista de que las condiciones de muy baja pendiente y sin orientación u orientación norte son las que más predominan en el área de estudio, la peligrosidad es principalmente alta y muy alta (Fig. 13). Esto se debe a que en los ambientes de llanura predominan los movimientos verticales del agua (infiltración – evapotranspiración) sobre los horizontales (escurrimientos), lo que genera que la velocidad de evacuación del agua sea lenta (Kruse y

Zimmerman, 2002). Específicamente, las áreas con peligrosidad muy alta coinciden con los cuerpos de agua permanentes, lo que responde al origen de las mismas: pendiente nula y sin orientación que facilitan la acumulación de agua en superficie.

Asimismo, las áreas con peligrosidad media se localizan en la zona de lomadas o en cercanías a los cursos de agua. Los resultados se encuentran en concordancia con las características del área de estudio, la cual Sosa et al. (2017) definió como una “planicie elevada de bajo gradiente” que es solo interrumpido por un ambiente de lomadas aisladas de poco relieve que le dan a la cuenca alta una topografía ondulada (García Martínez, Carbone, Piccolo y Perillo, 2008).

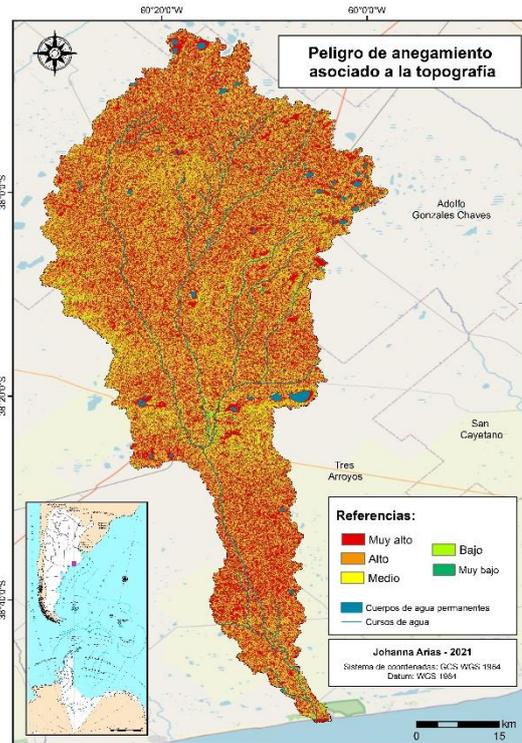
En cuanto a la peligrosidad baja y muy baja, se observan principalmente en cercanía de la ciudad de Tres Arroyos y en la zona costera. En el caso del primero, los sectores de mayor pendiente actúan como divisoria entre el arroyo de Medio y el arroyo Seco. En el área costera, las mayores pendientes se localizan en el área de médanos, los cuales alcanzan gran desarrollo y altitud (más de 15 metros) en cercanías al arroyo Claromecó (Bértola, Cortizo e Isla, 2009).

El drenaje de los suelos de la cuenca

Para construir el subfactor, se tuvo en cuenta los tipos de drenaje presentes en el área de estudio, entendido el drenaje como la rapidez con que el agua que ingresa desde la superficie se mueve a través del perfil del suelo. En el caso de la cuenca del arroyo Claromecó las categorías se encuentran entre bueno e imperfecto, siendo las áreas con drenaje pobre o imperfecto las que menor superficie abarcan. A partir de las categorías presentadas en la tabla V, se determinó el peligro de anegamiento asociado al drenaje del suelo, los cuales se observan en la figura 14.

Los sectores que presentan peligrosidad muy alta corresponden a los terrenos que constituyen los principales cursos de agua del área, el sector norte de la cuenca alta y el área

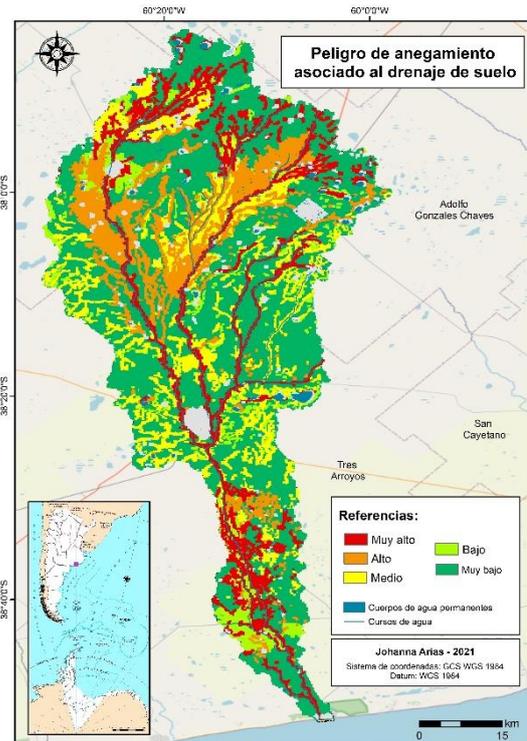
Figura 13
Peligro de anegamiento asociado a la topografía



Fuente: Arias J., 2021

central de la cuenca baja. Si bien, en la cuenca alta se localizan las nacientes del arroyo Claromecó, existen sectores donde la evacuación del agua precipitada permanece en el terreno varios días (Carbone, 2003). En tal sentido, la cuenca alta se caracteriza por tener un deficiente drenaje donde predominan planicies bajas inundables que se encuentran cubiertas, en muchos casos, por lagunas que aún no se han integrado a una red de drenaje (Carbone y Piccolo, 2002). En cuanto a la cuenca baja, los autores expresan que allí no solo existen sectores deprimidos donde el agua superficial escurre con dificultad, sino que también presentan un alto contenido de sodio. Ello afecta la estructura y permeabilidad de los suelos, así como la absorción del agua por parte de la vegetación.

Figura 14
Peligro de anegamiento asociado al drenaje del suelo



Fuente: Arias J., 2021.

En cuanto a las áreas con peligrosidad alta, se encuentran principalmente en la cuenca alta y en el norte de la cuenca media, de forma continua a las áreas con peligro muy alto y cubriendo áreas más extensas. El agua, en estos terrenos, es removida muy lentamente por lo cual el suelo permanece húmedo por varios días. Estas áreas constituyen fuentes de alimentación para los principales cursos de agua de la cuenca, transportando gran porcentaje del agua precipitada en la cuenca alta hacia sus cursos.

Las áreas con peligrosidad media y baja, es decir, con un drenaje moderado y de moderado a bueno, se localizan de forma más dispersa a lo largo de la cuenca. Las mismas corresponden a sectores que se encuentran saturados de agua por periodos cortos de tiempo. En el caso de la peligrosidad media se observa principalmente en las nacientes del arroyo Orellano, próximos a los cursos de primer orden del arroyo del Medio y en alrededores de la ciudad de Tres Arroyos, de forma contigua a las áreas con mayor peligrosidad. Con respecto a la peligrosidad baja, las mayores superficies se localizan en cercanías a la localidad de De la Garma, en inmediaciones de la ciudad de Tres Arroyos y en el centro de

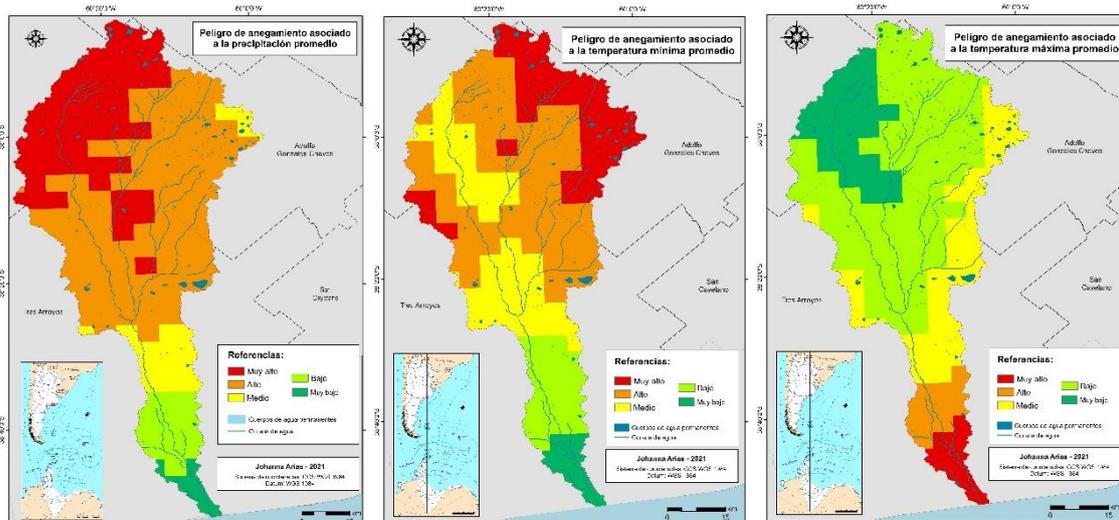
la cuenca inferior. Por último, las áreas con un drenaje bueno cubren importantes extensiones de la cuenca. En ellas, el agua es removida fácilmente, aunque no de forma rápida.

Estimación de los elementos meteorológicos

Entre las variables que intervienen en la formación de los anegamientos se encuentran los elementos meteorológicos, específicamente los correspondientes a precipitación y temperatura (principal agente de evaporación). En este sentido, se presentan en la figura 15 el modelado de los indicadores principales.

Se observa que las precipitaciones disminuyen en sentido norte – sur y oeste - este, razón por la cual las áreas de peligrosidad muy alta se localizan en el sector noroeste del área de estudio, disminuyendo progresivamente hasta las zonas con menor peligrosidad en el sur de la cuenca. Del mismo modo, las temperaturas mínimas descienden en sentido noreste y las temperaturas máximas lo hacen en sentido sureste.

Figura 15
Indicadores del subfactor “elementos meteorológicos”



Fuente: Arias J., 2021

De la suma de las variables y su posterior reclasificación, se construyó el subfactor “elementos meteorológicos” (Fig. 16). La peligrosidad estará determinada por la magnitud de las precipitaciones y las temperaturas. Es por ello, que la cuenca presenta una peligrosidad de anegamiento entre alta y baja. La peligrosidad alta y media se observa principalmente en las cuencas media y alta de la zona de estudio, áreas en las que se observan las mayores precipitaciones y que asimismo registran las máximas temperaturas de la cuenca. En tal sentido, la magnitud de las precipitaciones en la cuenca alta influye en el comportamiento de los caudales de los arroyos, así como en la formación de encharcamientos y anegamientos.

Del análisis de las precipitaciones más importantes y que han generado inconvenientes severos en el área (1998, 2001, 2002, 2012 y 2014) se observa que se han desarrollado durante la primavera, estación que coincide con la época de fenómenos lluviosos más intensos (Cazenave y Villanueva, 2009). Dado que en la cuenca del arroyo Claromecó, la evacuación del agua precipitada por escurrimiento superficial es lenta y la velocidad de infiltración es media/baja (Carbone y Piccolo, 2002), la temperatura como agente de evaporación cobra importancia a la hora de drenar los excedentes hídricos.

En el caso de la cuenca inferior presenta una peligrosidad baja, dado que allí coinciden los valores más bajos de precipitación y de temperaturas de la serie de datos. Es importante

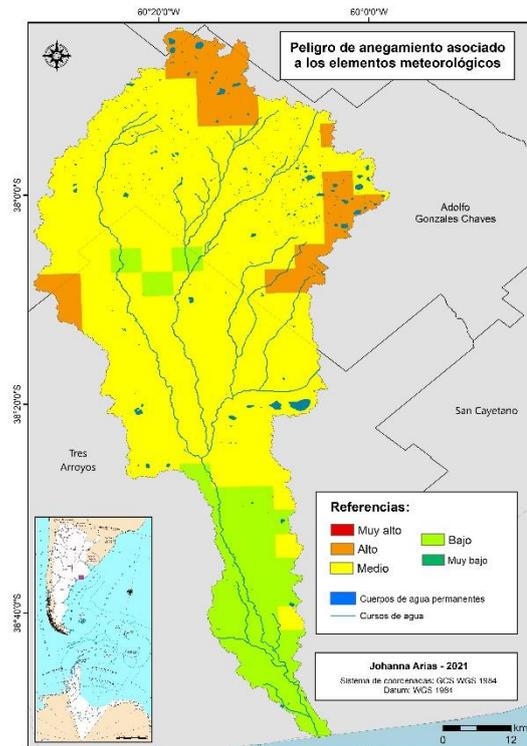
aclearar que no existen grandes diferencias en los valores de temperatura y precipitación en vista de que es una cuenca de tamaño intermedio con una superficie de 3.017,18 km².

La cobertura del suelo y su influencia en los anegamientos

A partir de la construcción del NDVI, se determinó la cobertura del suelo. La clasificación se realizó a partir de una imagen satelital correspondiente al mes de noviembre, periodo en el cual predominan las superficies cubiertas con trigo y girasol, principales cultivos de la región.

La buena cobertura de vegetación en casi toda la cuenca del arroyo Claromecó favorece la evapotranspiración, lo cual determina que las áreas de peligrosidad sean bajas y muy bajas en relación a este subfactor. Al respecto, Quiroz Londoño et al. (2013) indica que gran parte de la llanura interserrana de la provincia de Buenos Aires está dedicada a la actividad agrícola intensiva. En el caso particular de la región bajo estudio, la producción agrícola está centrada en cultivos que presentan una gran demanda de agua como son el maíz, el trigo y el girasol (Andrade, Laporta y Lezzi, 2009). Villanueva, Cazenave y Bilello (2009) señalan una tendencia a ocurrir fenómenos lluviosos intensos cuando existe girasol

Figura 16
Peligro de anegamiento asociado a los elementos meteorológicos



Fuente: Arias J., 2021

y/o trigo plantado, lo que puede traducirse en una disminución de los efectos de las precipitaciones sobre el suelo y la acumulación de agua en superficie. Sin embargo, esta situación también genera efectos negativos en los índices de producción y constituye uno de los condicionantes naturales para el desarrollo de la actividad agropecuaria en la región.

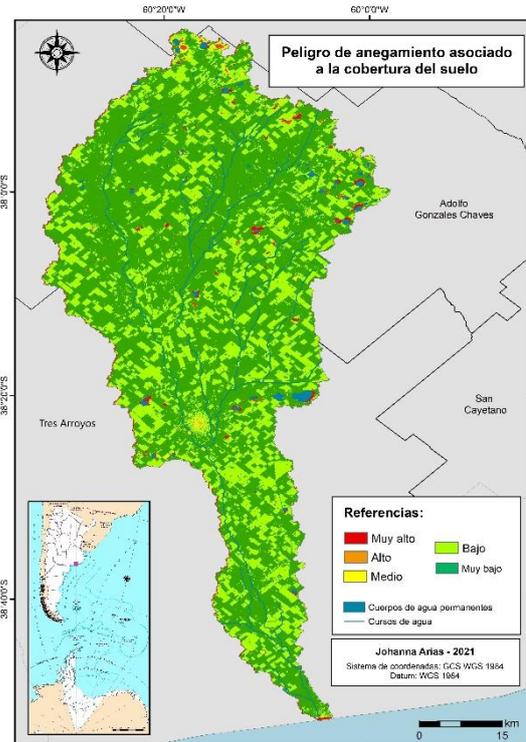
Con respecto a las áreas con peligrosidad moderada se localizan en dos sectores: áreas urbanas y lagunas temporarias de la cuenca alta. En el primer caso los valores de NDVI indican una vegetación moderada que coincide con una transformación del espacio por parte del hombre, disminuyendo las superficies vegetadas. En estas áreas los procesos de infiltración se reducen. En el segundo caso, cuerpos lagunares que se encuentran en su periodo de desecación y que experimentan un incipiente crecimiento de la vegetación.

Las áreas con peligrosidad alta son aquellos sectores con muy baja o nula cobertura vegetal. Entre ellos se puede mencionar las llanuras de inundación de las lagunas permanentes, los cuerpos de agua temporarios y los espacios intermédanos. Cada uno posee una dinámica particular que se relaciona con la predominancia de otros factores y subfactores estudiados.

4.2. Evaluación de grado de peligro de sequía

Para el estudio del peligro de sequía se construyeron los subfactores de ocurrencia histórica, textura de los suelos, pérdida de lluvias y respuesta de la vegetación. En la figura 18 se presentan los resultados obtenidos. Se observa que el factor analizado en la cuenca es entre moderada y baja. En tal sentido, la amenaza disminuye a medida que la distancia a los cursos y cuerpos de agua es menor, señalando un claro patrón de distribución de la humedad del suelo y retención del agua. Existe un comportamiento propio de un área con un régimen

Figura 17
Peligro de anegamiento asociado a la cobertura del suelo



Fuente: Arias J., 2021

hídrico subhúmedo seco, el cual presenta alrededor de 6 meses con disponibilidad de agua y 6 meses atravesando un periodo seco. Los meses de sequía influyen directamente en la vegetación, por esta razón la misma presenta situaciones de estrés hídrico que se observan en las áreas con moderada peligrosidad. Además, la peligrosidad moderada se relaciona con la buena infiltración que presentan los suelos a partir de una textura del suelo franco-limosa y también las bajas pendientes que favorecen la retención del agua precipitada.

En el caso de la cuenca alta, se observa un mayor número de áreas con peligrosidad baja. Estos resultados presentan congruencia con los obtenidos en el índice de peligrosidad ante eventos de anegamientos, los cuales ilustran la tendencia a la acumulación de agua principalmente en la cuenca alta y que también podrían estar asociados a la presencia de humedales.

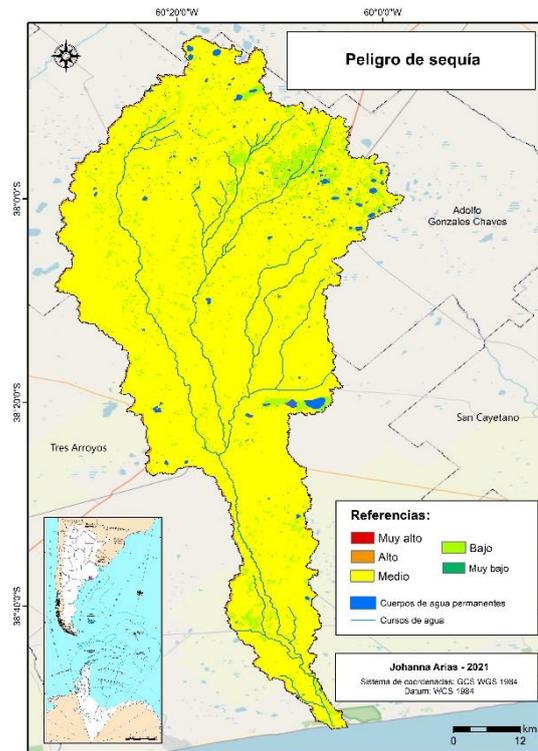
Determinación de la ocurrencia histórica

Tal y como se explicó anteriormente, para determinar la frecuencia de eventos de déficit hídrico en el área de estudio (Fig. 19), se tuvieron en cuenta los índices de sequía de Palmer (PDSI) para cada uno de los meses entre los años 2000 y 2018. Los mismos fueron contruidos a partir de los datos de temperatura, precipitación y humedad del suelo.

Del análisis del subfactor de ocurrencia histórica se observa una tendencia a la sequía incipiente en la mayor parte de la cuenca, lo que se traduce en una peligrosidad alta. En el sector noreste de la misma se clasificó como humedad cercana a la normal, lo que implica una peligrosidad moderada.

Estos resultados se encuentran en concordancia con las características del área de estudio que expresa Quiroz Londoño (2013:77): la región de la llanura interserrana “se ve afectada periódicamente por fenómenos de inundación y sequías que alteran sus índices de producción y por ende la calidad de vida de sus habitantes”. En relación a ello, Carbone

Figura 18
Peligro de sequía



Fuente: Arias J., 2021

(2003) indica que las “llanuras son ambientes de suma fragilidad ante eventos hidrológicos extremos” ya sean de déficit como las sequías o de excedentes hídricos como los anegamientos estudiados en el apartado anterior.

Borda (2016), sobre la base de un estudio de las sequías históricas en el área de influencia de la Chacra Experimental Integrada Barrow del INTA precisa que entre los años 2003 y 2016 los periodos de sequía eran cortos con una intensidad débil o moderada. Sin embargo, se identificaron sequías extremas en los años 2010 y 2014. Asimismo, Scarpati y Capriolo (2013) indican que para el periodo 1969 – 2008 el sector donde se localiza la cuenca del arroyo Claromecó presentó 4 eventos severos y 38 de nivel extremo, siendo los periodos 1979/1988 y 1999/2008 los que presentaron los valores más altos de deficiencia de agua en el suelo. Estudios como los mencionados anteriormente, confirman que el área de

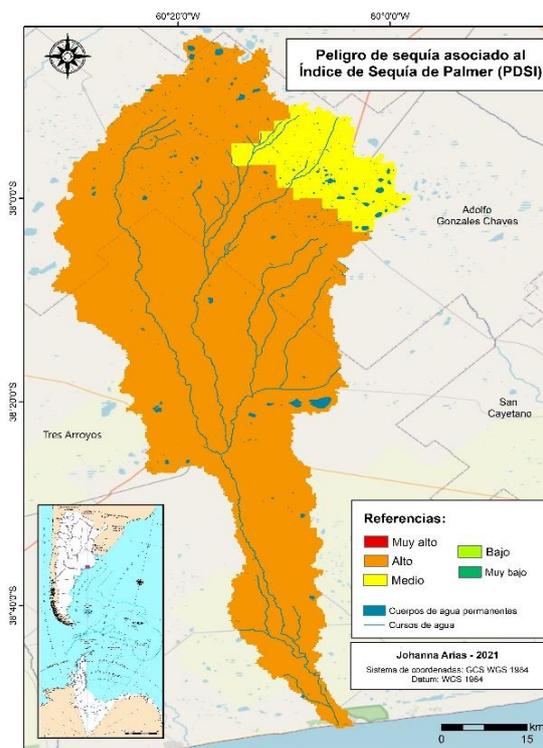
estudio presenta eventos de déficit hídrico con cierta frecuencia, concerniente a un ambiente de llanura, situación que se traduce en una peligrosidad alta como lo indica el subfactor elaborado.

Estimación de la textura de suelos

La textura del suelo es una propiedad que influye en la velocidad de infiltración del agua dado que, cuando mayor sea el contenido de arena menor será la capacidad de retener agua en el suelo. Por el contrario, cuando mayor porcentaje de arcilla contenga mayor será la retención de agua que disponga el suelo.

Con relación a la cuenca del arroyo Claromecó, INTA (1994) efectuaron una caracterización edáfica del área. La cuenca alta presenta Argiacuoles típicos y Natralcuoles que se caracterizan por tener un horizonte superficial con una textura franco arcillosa y una velocidad de infiltración media con valores que varían entre 11 y 19 mm h⁻¹. En el caso de las cuencas media y baja, predominan los Argiudoles típicos de textura franco limosa, con

Figura 19
**Peligro de sequía asociado a la
 ocurrencia histórica**

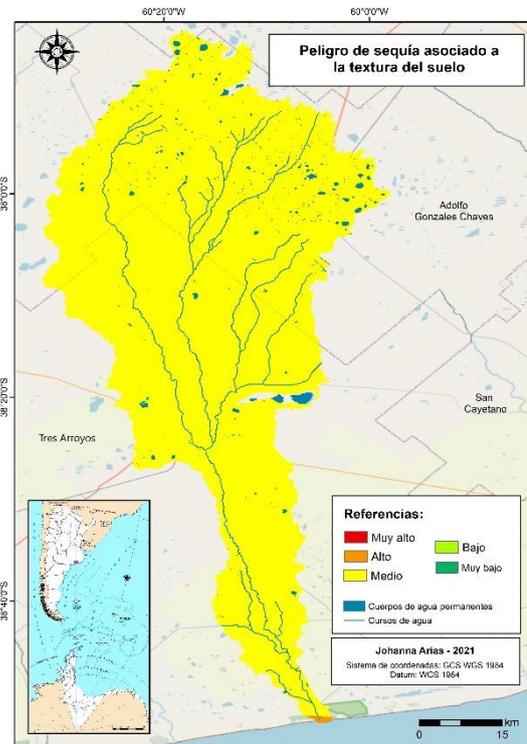


Fuente: Arias J., 2021

valores de infiltración entre baja a muy baja para la primera y velocidades medias para la cuenca inferior. Los suelos de la cuenca, en concordancia con los suelos de la región pampeana, son ricos en materia orgánica (3 a 5%). Dicha situación es considerada un beneficio frente a los periodos de déficit hídrico dado que la materia orgánica puede “retener agua cerca de 20 veces su peso” (Shaxson y Barber, 2008).

En general, la cuenca bajo estudio se caracteriza por tener un suelo franco limoso, a excepción de la zona costera que es areno – franco. Es por ello, que la amenaza ante la sequía en función de la textura del suelo es moderada para toda la extensión de la cuenca, exceptuando la localidad de Claromecó que presenta una peligrosidad alta. Los resultados se observan en la figura 20.

Figura 20
Peligro de sequía asociado a la textura del suelo



Fuente: Arias J., 2021

Incidencia de la pérdida de lluvias en la zona de estudio

Para confeccionar la variable de pérdida de lluvias, la cual refleja el movimiento del agua en el suelo, se trabajaron los indicadores de textura del suelo y pendiente (Fig. 20). Como se mencionó en apartados anteriores, la región bajo estudio se caracteriza por ser una llanura ondulada con suaves pendientes en donde predominan suelos con buena infiltración, rasgos que favorecen la retención del agua frente a periodos de sequías.

Los resultados evidencian que cuanto mayor sea la pendiente del área y menor la capacidad de retención del agua en el suelo mayor será la amenaza de sequía, dado que disminuye la reserva de agua ante periodos de déficit hídrico. Con base a esta premisa se observa que en el área de estudio presenta una peligrosidad baja (Fig. 21), situación que coincide con la tendencia a la acumulación del agua en la superficie estudiada en el peligro de anegamiento. En algunos sectores, principalmente el área costera o la confluencia de los tres arroyos se registra una peligrosidad moderada. En el caso de la región costera de la localidad de Claromecó, la peligrosidad moderada se debe a una peligrosidad alta del

subfactor textura del suelo y moderada en el subfactor pendiente. Por otro lado, sectores aislados a lo largo de la cuenca con peligrosidad moderada se encuentran vinculados a terrenos más elevados como es el caso del área de confluencia de los tres arroyos entre el Primer y el Segundo Brazo del arroyo Claromecó.

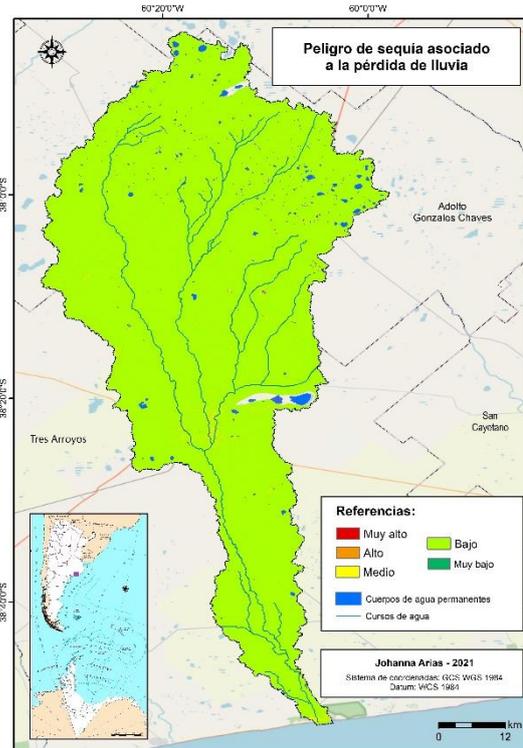
Respuesta de la vegetación frente a la sequía

Ante la variación de la humedad en el suelo, la vegetación responde de diferentes formas. Para estudiar estas variaciones se construyeron dos indicadores: estrés hídrico a partir de un NDVI (Fig. 22) y contenido de agua en la vegetación mediante un NDWI (Fig. 23). Para ello se clasificaron los valores de los índices de vegetación del periodo 2000 – 2018.

Del análisis del NDVI, se observa que el área de estudio presenta sectores con vegetación en diferentes estadios de vigorosidad. Es por ello, que la peligrosidad del área de estudio es principalmente entre alta y baja. Los sectores con peligrosidad baja y muy baja se localizan próximos a los cursos de agua, principalmente los arroyos Orellano y del Medio. A medida que aumenta la distancia a los cursos de agua, también lo hace la amenaza de sequía dado que aumentan las posibilidades de estrés hídrico. Esto indica una vegetación que va perdiendo su vigorosidad o una menor presencia de vegetación en el área. Por otro parte, se han detectado algunas parcelas, al igual que el área costera y las áreas urbanas, con peligrosidad muy alta. Los mismos constituyen áreas con suelo descubierto, cuerpos de agua o terrenos medanosos.

En cuanto al contenido de agua, la clasificación del NDWI indica una mayor peligrosidad en comparación con los resultados del NDVI. Estudios señalan que es un indicador con resultados más precisos que el anterior, dado que elimina las variaciones inducidas por la estructura de la hoja. La cuenca del arroyo Claromecó presenta, mayormente, una peligrosidad entre muy alta y alta, es decir que la vegetación presenta poca humedad y se encuentran en distintas condiciones de estrés. Las zonas con valores medios y

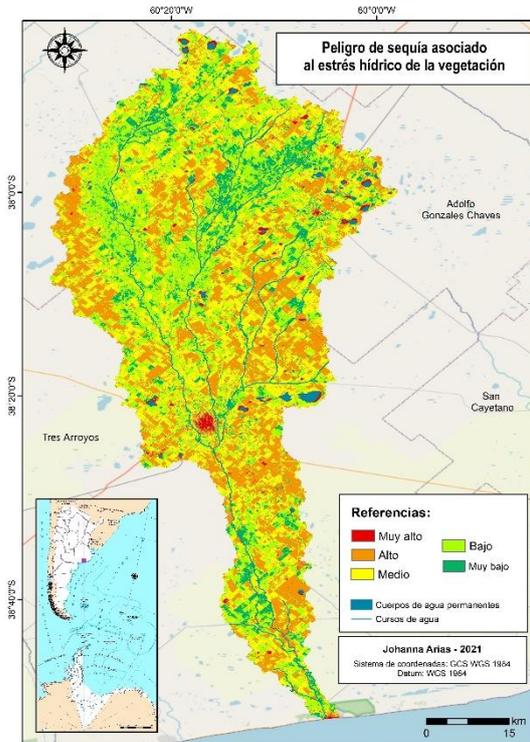
Figura 21
Peligro de sequía asociado a la pérdida de lluvia



Fuente: Arias J., 2021

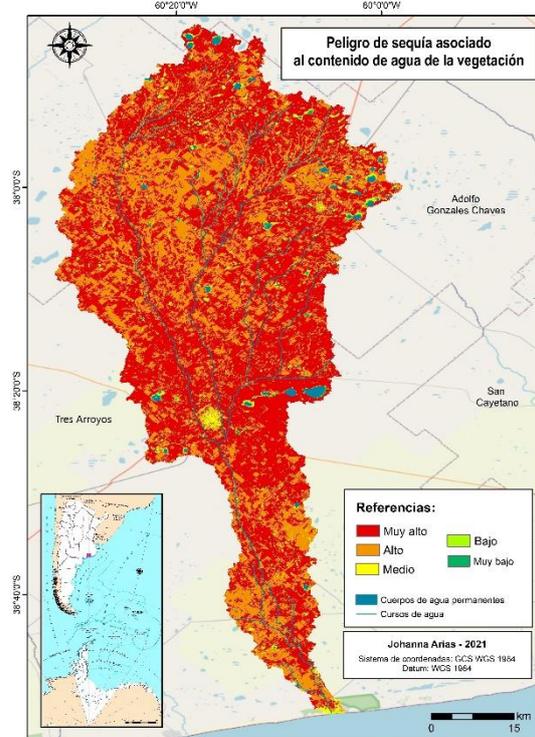
bajos se encuentran distribuidos en el área de estudio, son de poca extensión y están vinculados a cuerpos de agua de régimen temporario y a la zona costera.

Figura 22
Peligro de sequía asociado al estrés hídrico de la vegetación



Fuente: Arias J., 2021

Figura 23
Peligro de sequía asociado al contenido de agua de la vegetación



Fuente: Arias J., 2021

Puesto que los índices se construyeron con escenas posteriores a los valores mínimos mensuales precipitados en el área de estudio, los resultados señalan los sectores que son más afectados ante eventos de déficit hídrico representando solo un instante de tiempo y sin tener en cuenta el tipo de vegetación. Valores bajos o negativos en los índices son indicativos de un déficit hídrico en el suelo, el cual está asociado a la disponibilidad de humedad para las necesidades de la vegetación, especialmente los valores bajos de NDWI. Sin embargo, esto no necesariamente significa que la zona con déficit hídrico esté atravesando una sequía, por lo que los índices de vegetación no son por sí solos indicativos de amenaza y se utilizan como variables en la elaboración del índice de peligrosidad.

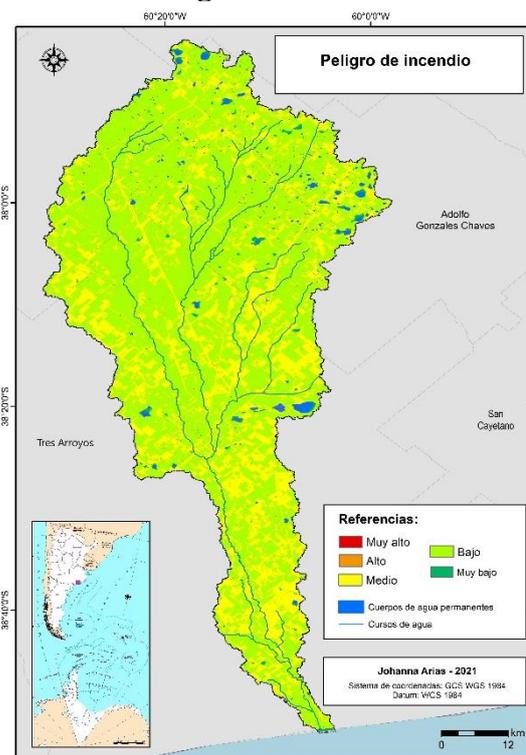
Por otro lado, se registraron algunas inconsistencias en los resultados que deberían ajustarse en el modelo. Los mismos podrían ser producto de errores de clasificación.

4.3. Incidencia del peligro de incendio

Con relación al subíndice de peligro de incendio se tuvo en cuenta las variables relacionadas con la vegetación, la actividad humana y los elementos meteorológicos. Como resultado se observa que la región bajo estudio presenta una peligrosidad baja, con algunos sectores con una peligrosidad media (Fig. 24). Algunos de ellos presentan cierta linealidad vinculado a las vías de comunicación ligado al factor humano o un diseño parcelario asociado a la actividad fotosintética de la vegetación. Con respecto a la zona costera, la peligrosidad es muy baja, dado que allí coinciden baja actividad fotosintética correspondiente a un área medanosa y la ausencia de una de las variables que conforman el factor humano.

En este sentido, se registra un bajo contenido de agua en la vegetación; áreas de poca extensión, pero bien distribuidas con peligrosidad asociada a las actividades humanas y un buen equilibrio entre la distribución de las precipitaciones, las temperaturas y el viento. La suma de las variables indica, en la cuenca del arroyo Claromecó, una probabilidad predominantemente baja de peligro de incendios.

Figura 24
Peligro de incendio



Fuente: Arias J., 2021

Comportamiento de la actividad fotosintética

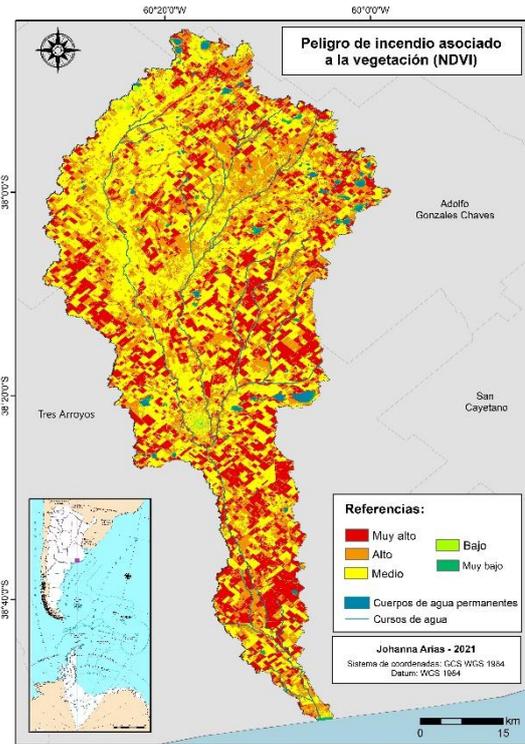
El estado fenológico de la vegetación es una de las variables más utilizadas para estimar la probabilidad de ignición o propagación del fuego. Con base a ello, se clasificaron los valores del índice de vegetación (NDVI) según la tabla XII.

Durante el mes de enero, momento en el que se construyó el índice, el área de estudio se encontraba sembrada con cultivos de cosecha gruesa como lo son el maíz, el girasol, la soja y el sorgo. Los mismos constituyen cultivos de verano los cuales aumentan su cobertura vegetal durante los meses de noviembre, diciembre y enero dado que su periodo de cosecha inicia aproximadamente en los meses de marzo / abril. Esta situación indica que la cuenca

presentaba buena cobertura vegetal en el momento en que se realizó el índice de vegetación, por lo que brinda una información más certera de la actividad fotosintética de los cultivos y disminuye la probabilidad de presentar de suelos descubiertos.

Se observa que la cuenca presenta una peligrosidad de incendio asociado a la vegetación entre media y muy alta, lo que señala un bajo contenido de humedad en la vegetación (Fig. 25). Los sectores con peligrosidad moderada se localizan principalmente en la cuenca alta y en cercanías a los cursos de agua, áreas que se caracterizan por su deficiente drenaje y la tendencia a la acumulación de agua en el suelo. Los terrenos con valores muy bajos se localizan en el sector costero, asociado al sector de playa y dunas costeras. Asimismo, cuerpos de agua temporarios presentes en el momento de la toma de la imagen satelital fueron clasificados con una peligrosidad muy baja. Por otra parte, se observan pocas parcelas dispersas en el área de estudio con una peligrosidad baja. Los sectores con amenaza alta y muy alta también ocupan un porcentaje importante en la clasificación del peligro, localizados principalmente en la cuenca inferior.

Figura 25
Peligro de incendio asociado a la vegetación



Fuente: Arias J., 2021

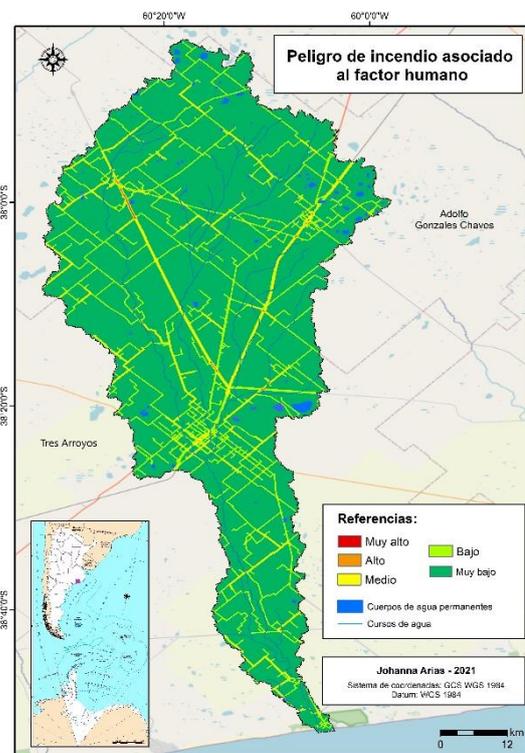
Según estudios realizados por la Chacra Experimental Integrada Barrow (Berriolo, 2008) el maíz es altamente sensible a los eventos de stress hídrico por lo que es el cultivo que más impactos presenta, mientras que el girasol “se comporta mejor ante la falta de agua”. Además, en el área de estudio se encuentran parcelas sembradas con soja de primera y de segunda. En el caso de la soja de segunda la siembra se realiza tardíamente con respecto a los otros cultivos, razón por la cual durante el mes de enero la planta se encuentra en los primeros periodos de desarrollo. Los distintos estadios de los cultivos y su comportamiento ante el déficit hídrico pueden ser una de las respuestas a las diferencias espaciales observadas en el área de estudio y consecuentemente de su peligrosidad ante incendios.

Incidencia del factor humano

Los factores vinculados a la actividad humana tienen especial importancia en la clasificación del peligro de incendio. Sin embargo, es una de las variables más difíciles de valorar y espacializar. Es por ello, que para estudiar este subfactor se tuvo en cuenta variables de carácter estructural relacionadas con elementos permanentes del territorio. Las mismas están relacionadas con accidentes y negligencias, por lo que se consideró la cercanía a caminos, vías férreas y líneas eléctricas. A menor distancia de los elementos, mayor la peligrosidad. Los tres indicadores fueron clasificados a partir de los valores de las tablas XIII, XIV y XV.

En líneas generales, el área de estudio presenta una peligrosidad muy baja (Fig. 26), la cual aumenta a medida que es menor la distancia a los elementos analizados. La densidad de los elementos es moderadamente alta, cubriendo un gran porcentaje del área de la cuenca. La peligrosidad aumenta allí donde coinciden los tres factores, los cuales se localizan en cercanías de las localidades de Tres Arroyos, Adolfo González Chaves y De La Garma. Es en las áreas urbanas donde se observa un aumento en la densidad de los elementos estudiados, propio de áreas con concentración de población, mayor circulación y demanda de servicios. Por su parte, la localidad costera de Claromecó presenta una peligrosidad menor con respecto a otros centros urbanos, dado que no cuenta con la variable de vías férreas acorde con su perfil turístico y no agroproductivo como el resto de la cuenca.

Figura 26
Peligro de incendio asociado al factor humano



Fuente: Arias J., 2021

Si bien los factores fueron fácilmente representados de forma lineal en el entorno SIG, la peligrosidad asociada a los mismos no supera los 500 metros, por lo que la información a nivel de cuenca es apenas apreciable. Es por ello, que para estudiar la influencia de las actividades humanas ante el peligro de incendios es necesario cambiar la escala con la que se trabaja aumentando el nivel de detalle.

Comportamiento de los elementos meteorológicos

Las condiciones climáticas influyen en el comportamiento del fuego. Es por ello que se construyeron los indicadores correspondientes a la velocidad del viento, máxima temperatura en el mes más cálido y precipitaciones promedio.

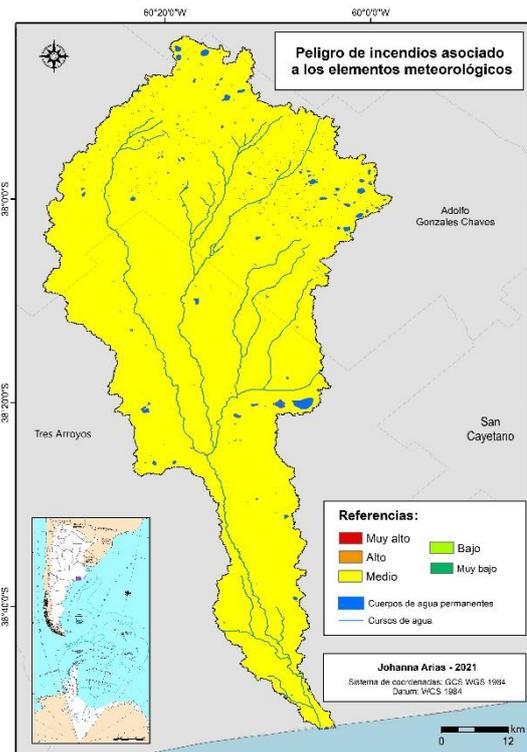
En general, la temperatura máxima en la cuenca del arroyo Claromecó disminuye en sentido norte - sur y las precipitaciones en el sentido contrario. En cuanto a velocidad del viento, aumenta a medida que nos aproximamos a la costa. Durante el verano se registran los valores más bajos de humedad relativa, los máximos registros térmicos y el mayor número de horas sol, es decir, la mayor heliofanía efectiva. Estas condiciones junto a un déficit hídrico aumentan el riesgo potencial de incendios. Como resultado de la relación entre estos factores, la peligrosidad asociada a los elementos meteorológicos es moderada en toda la cuenca (Fig. 27).

La homogeneidad en los resultados responde a dos cuestiones. La primera de ellas está en relación con la resolución de los datos, dado que la información surge de una interpolación de datos con una resolución espacial de 4 km. La segunda es la poca variación existente entre los valores registrados en cada uno de los factores, constituyendo la cuenca una región climáticamente homogénea con valores medios propios de un clima templado, con una temperatura promedio de 14,9°C y un régimen hídrico subhúmedo seco.

4.4. Estimación del peligro de erosión costera

En la identificación de la erosión costera se consideraron las variables de ancho de playa, tasa de erosión y tipo de playa. De forma general se puede señalar que el área costera de la localidad de Claromecó se caracteriza por tener extensas playas que son influidas por un régimen mesomareal y olas de más de 2 metros de altura. El tipo de playa es de régimen intermedio a disipativo y no presenta obstáculos ante la acción del oleaje. En cuanto a la

Figura 27
Peligro de incendio asociado a los elementos meteorológicos



Fuente: Arias J., 2021

erosión registrada en el periodo 2000 – 2018 se identificaron sectores con diferentes grados de retroceso, siendo los de mayor longitud los localizados en los principales paradores y las playas de Dunamar. Asimismo, la erosión es menor a medida que aumenta la distancia al centro urbano.

De los resultados obtenidos se observa que la peligrosidad en general es moderada, siendo baja solo en algunos sectores (Fig. 28). Los mismos se encuentran, en general, cerca de la desembocadura del arroyo o alejados del área urbana, lo que indicaría una menor influencia de la acción del hombre sobre el ecosistema costero.

Figura 28
Peligro de erosión costera



Fuente: Arias J., 2021

Evaluación del ancho de playa

El ancho de playa puede ser variable dependiendo de la geoforma costera predominante y del grado de urbanización de la costa. Las variaciones en la misma pueden influir en como la costa es afectada por la acción del oleaje. Tal como se observa en la figura 29, la peligrosidad asociada es baja en toda el área de estudio. Estos resultados se pueden relacionar a dos cuestiones: en primer lugar, la costa tresarroyense se caracteriza por tener extensas playas que en muchos casos superan los 100 metros (Kokot, Angamaro y Valladares, 2011) y, en segundo lugar, por contar hasta el momento, con un desarrollo urbanístico incipiente lo que indica una baja presión por parte del hombre pese a la mayor afluencia de turistas durante el verano. Dado que constituye el principal destino turístico del partido de Tres Arroyos y la extensión de las playas es menor frente a la zona urbana, es necesario continuar midiendo esta variable.

Figura 29
Peligro de erosión costera asociado al ancho de playa



Fuente: Arias J., 2021

Determinación de las variables asociadas al tipo de playa

Para caracterizar la playa bajo estudio, se construyeron 7 indicadores. Cada una de las variables fue ponderada a partir de la escala de peligro aplicada en este trabajo. La información recabada corresponde a la totalidad del área de estudio, es decir, que los resultados son valores promedios y no se presentan variaciones dentro del área bajo estudio.

Teniendo en cuenta las características geomorfológicas la amenaza es baja, dado que es una playa de arena con acantilados bajos y cubiertos por médanos. La pendiente presenta valores entre 2 y 4 grados por lo que la amenaza es alta. El grado de exposición al oleaje es muy alto porque la costa no presenta obstáculos, razón por la cual la exposición es directa. El estado morfodinámico de la playa es de tipo intermedia a disipativa (Bértola et al., 2009) de modo que la peligrosidad asociada es alta. La clasificación por presencia de rasgos geomorfológicos es baja visto que solo hay plataformas de abrasión en algunos sectores de la costa. Teniendo en cuenta el rango mareal, el cual es mesomareal, la peligrosidad es moderada. En cuanto a la altura de la ola, se caracteriza por superar los 2 metros razón por la cual el indicador está clasificado como muy alto. Como resultado final luego de la suma de los indicadores, se puede afirmar que la peligrosidad asociada al tipo de playa, es decir derivada de condiciones naturales, es alta en toda la zona costera (Fig. 30).

Figura 30
Peligro de erosión costera asociado al tipo de playa



Fuente: Arias J., 2021

Comportamiento de la tasa de erosión

Para determinar la tasa de erosión se identificaron las variaciones entre la línea de costa del año 2000 y la correspondiente al año 2018. Las áreas con una peligrosidad alta y muy alta estarán determinadas por un valor negativo en la tasa, lo cual significa que la costa retrocedió durante el periodo analizado. Aquellas zonas que se mantuvieron estables presentan una peligrosidad moderada y las zonas con valores positivos, es decir, las que se expandieron presentan una peligrosidad baja o muy baja.

A partir del análisis de los resultados (Fig. 31) se observa que los sectores que no registraron cambios y que presentan una peligrosidad moderada, se localizan en los límites del área de estudio y en cercanías a la desembocadura del arroyo Claromecó. En el primer caso está asociado a una menor influencia de la acción humana sobre el medio, principalmente de la actividad turística. En cuanto al área próxima a la desembocadura, del lado de Claromecó, coincide con la zona náutica destinada a la pesca y al ingreso de pequeñas embarcaciones. En este sector existe una bajada directa desde la costanera hasta el mar, por lo que la circulación de vehículos no es significativa pese a que es un área que está habilitada a tal fin.

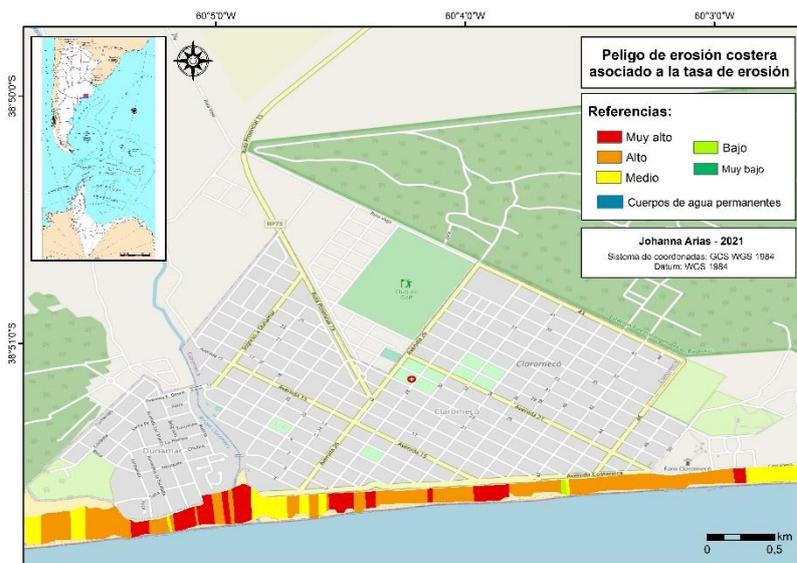
En general, la costa presenta una peligrosidad entre alta y muy alta que coincide con la zona urbana, siendo los sectores con peligrosidad alta las que registran mayor extensión. Las áreas que presentaron mayor retroceso en el periodo 2000 – 2018 se localizan

principalmente en la costa del barrio Dunamar, la desembocadura del arroyo Claromecó y las playas del centro urbano.

La forestación de médanos, así como el desarrollo urbanístico tanto en la localidad de Claromecó como en el barrio residencial Dunamar, ha reducido la influencia de los vientos dominantes que aportan material al sector de playa desde el continente. En segundo lugar, el balneario constituye el principal destino para el turismo de sol y playa de la región, situación que determina la concentración de personas en las playas frente a la localidad. Esto no solo genera una presión sobre el medio, sino que implica un “acondicionamiento” con fines turísticos por lo que es el área más modificada por la acción del hombre. Como ejemplo de ello podemos mencionar la instalación de paradores, la extracción y el movimiento de arena y el alisado de tosca para la circulación de vehículos en cercanías al faro (Bértola, Cortizo e Isla, 2009). En cuanto al barrio Dunamar, se observa que la extensión de la playa es menor en el sector oeste del loteo señalando un mayor avance urbanístico sobre la costa.

Por otro lado, el retroceso costero en la desembocadura del arroyo está asociado a la dinámica natural del estuario, el transporte de sedimentos y la intervención humana. Ante las variaciones producidas por el arroyo Claromecó, es común que el municipio realice trabajos de canalización para que el curso de agua retome su “cauce normal” y la desembocadura no se localice dentro de la zona náutica. Ejemplo de ello son los trabajos de canalización realizados por el Ente Descentralizado de Claromecó en diciembre de 2020 (Radio Comunidad Claromecó, 2020).

Figura 31
Peligro de erosión costera asociado a la tasa de erosión



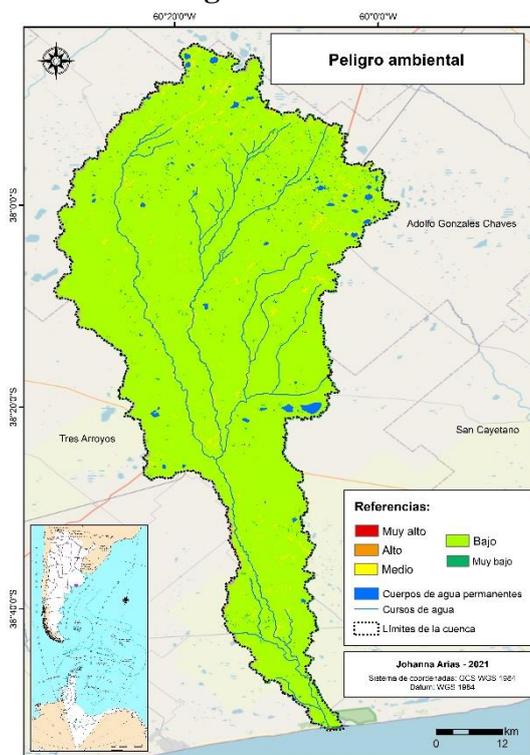
Fuente: Arias J., 2021

4.5. Evaluación de los niveles de peligro ambiental

El peligro ambiental en la cuenca del arroyo Claromecó es el resultado de la interrelación entre los 4 tipos de peligros identificados y analizados en los apartados anteriores. El aporte de este factor está relacionado con la posibilidad de identificar en qué sectores de la cuenca es probable que se experimente alguno de los eventos estudiados. Cuanto mayor sea el número de fuentes de peligro mayor será la probabilidad de que experimente daños nocivos.

Teniendo en cuenta la totalidad del área de estudio, se afirma que la peligrosidad es baja (Fig. 32). Sin embargo, se observaron algunos sectores con una probabilidad de amenaza moderada, los cuales se encuentran dispersos en toda el área de estudio. De acuerdo a los subfactores analizados, existe una mayor probabilidad de que se desarrollen eventos de anegamientos en sectores de la cuenca alta del arroyo Claromecó. Los resultados están asociados a las características generales del área de estudio: una escasa pendiente topográfica, la existencia de suelos porosos y un deficiente drenaje superficial (García Martínez et al., 2008).

Figura 32
Peligro ambiental

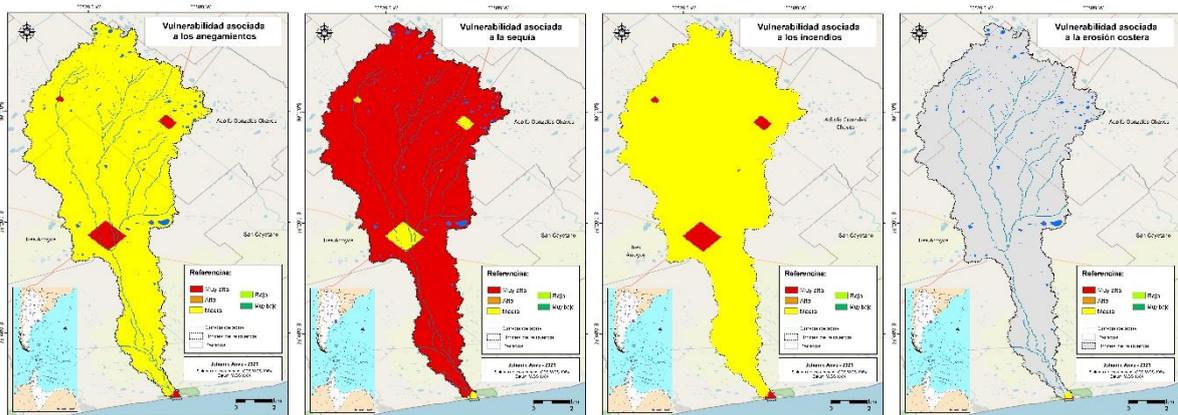


Fuente: Arias J., 2021

CAPÍTULO 5: Identificación de los sistemas expuestos y su vulnerabilidad

Teniendo en cuenta las características del área de estudio y las consecuencias que pueden generar cada uno de los fenómenos estudiados en este trabajo, se obtuvo la vulnerabilidad de las áreas urbanas, la zona costera y el espacio rural para cada amenaza (Fig. 33). Posteriormente se sumaron los resultados para construir el subíndice de vulnerabilidad total del área (Fig. 34).

Figura 33
Indicadores de vulnerabilidad



Fuente: Arias J., 2021

Los resultados señalan que las áreas urbanas constituyen los territorios que presentan mayor vulnerabilidad ante los fenómenos estudiados, siendo los anegamientos los eventos que han generado mayores perjuicios para la población local según datos históricos. Durante el siglo XX y principios del siglo XIX se han producido diversos episodios de anegamientos y desbordes entre los que destacan los producidos en 1915, 1919, 1956, 1980, 1998, 2001, 2002, 2012 y 2014 (Carbone, 2003; La Voz del Pueblo, 2002; Errea, 2020; Carbone y Piccolo, 2010). Estos eventos provocaron evacuaciones, rutas y caminos intransitables, poblaciones aisladas, animales domésticos muertos, así como daños y pérdidas de mobiliario. De igual modo, el área rural registró pérdida o traslado de ganado, poblaciones rurales aisladas, campos lavados y una merma de la producción o de la capacidad productiva agrícola. Como medidas de prevención y apaleamiento se han realizado canalizaciones, así como la ampliación y profundización del cauce de los arroyos, principalmente en cercanías a la ciudad de Tres Arroyos. En cuanto a los incendios, el pueblo costero constituye la urbanización más vulnerable ante la problemática dado que en el interior de su zonificación se localiza la Estación Forestal o Vivero Dunícola el cual es foco de incendios con cierta periodicidad. Dependiendo de la magnitud de la amenaza, los incendios no solo han generado consecuencias para la biodiversidad del lugar, han afectado a campos linderos y

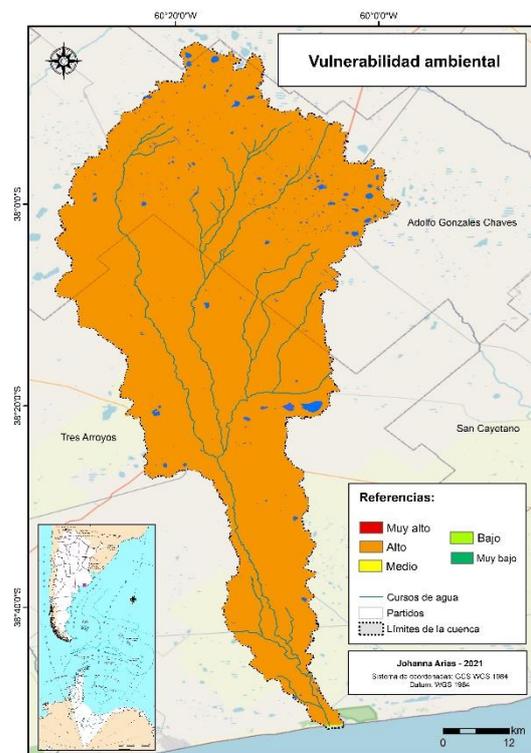
han demandado la evacuación de personas, como es el caso del gran incendio del año 2014 relatado por Radio Comunidad Claromecó en su red social (estado de Facebook, enero de 2014).

En cuanto a las áreas rurales, el agua es una de las condicionantes para el desarrollo de la actividad agropecuaria, no solo en exceso sino también deficiencia, razón por la cual, los productores se encuentran entre los principales demandantes de un adecuado manejo de los recursos hídricos (Bilello y Capriolo, 2013). Una zona con déficit hídrico no cuenta con la disponibilidad de humedad requerida para cubrir las necesidades de la vegetación, lo que implica una variación en la calidad y rendimientos de los cultivos, enfermedades y pérdida de ganado y un aumento en las probabilidades de incendios. Al respecto, el área de estudio se caracteriza por experimentar temporadas secas con cierta frecuencia, siendo los periodos 2008 – 2010, 2013 – 2014 y 2016 – 2017 las sequías más extensas y de mayor severidad de la etapa bajo estudio (La Voz del Pueblo, 2018).

En cuanto a la zona costera, solo es vulnerable ante el fenómeno de erosión costera dada sus características naturales. Cabe destacar la vulnerabilidad que presenta la localidad de Claromecó ante dicha problemática, dada su localización relativa y su estrecha vinculación con el recurso costero el cual constituye la principal actividad económica del lugar, tanto con fines recreativos – turísticos como pesqueros.

Del análisis de la figura 34 se puede afirmar que la vulnerabilidad es alta en toda la cuenca del arroyo Claromecó, tanto en el área urbana como en el rural, asociada principalmente a los eventos hidrológicos extremos, tanto de déficit como de excedentes hídricos. Un caso particular es la zona costera que registra una vulnerabilidad frente a los peligros baja, vinculado a su sensibilidad ante fenómenos de erosión costera y no así a los otros peligros analizados.

Figura 34
Vulnerabilidad ambiental



Fuente: Arias J., 2021

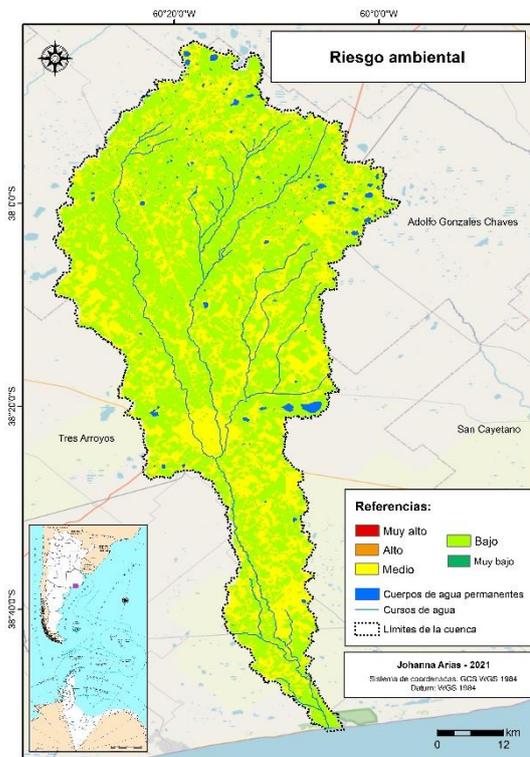
CAPÍTULO 6: Evaluación de los niveles de riesgo ambiental

Como último paso en la construcción del índice de riesgo ambiental de la cuenca del arroyo Claromecó se relacionaron las capas de peligrosidad y vulnerabilidad. Del análisis de la figura 35 se observa que el riesgo es principalmente bajo, no obstante, existen numerosos sectores con una probabilidad de ocurrencia media. La costa es la única área que presenta un riesgo muy bajo dada su localización relativa. Como el resultado obtenido es general para toda la cuenca y para todos los fenómenos estudiados, se identificó el riesgo de forma particular para cada evento: anegamientos, sequías, incendios y erosión costera.

La cuenca hidrográfica presenta sectores con distintos niveles de riesgo de anegamiento (Fig. 36). En general se observa un riesgo bajo intercalado con sectores con valores medios. El mismo varía, principalmente, en función del comportamiento del agua como se detalló en apartados anteriores. Por otra parte, se puede afirmar que el riesgo es alto en los centros urbanos de Tres Arroyos, De la Garma, Adolfo Gonzales Chaves y Claromecó. En el caso de las áreas rurales el riesgo está determinado principalmente por el peligro en sí, es decir, por la probabilidad de que el sector sufra problemas de anegamiento. En el caso de las áreas urbanas, el riesgo aumenta con respecto al resto de la cuenca porque cobra mayor peso la vulnerabilidad, teniendo en cuenta que existe un mayor número de personas y bienes que pueden ser afectados por los excesos hídricos.

Del análisis de la figura 37 se puede observar que el área de estudio presenta un riesgo alto frente a los eventos de sequía prácticamente en toda la cuenca, mientras que es moderada en sectores de la cuenca alta y los centros urbanos. Esto se debe a que se registró una peligrosidad moderada y una vulnerabilidad muy alta en las zonas rurales, las cuales constituyen los espacios de mayor superficie en el área de estudio y los que registran las consecuencias más considerables. Asimismo, el riesgo disminuye a moderado en numerosos

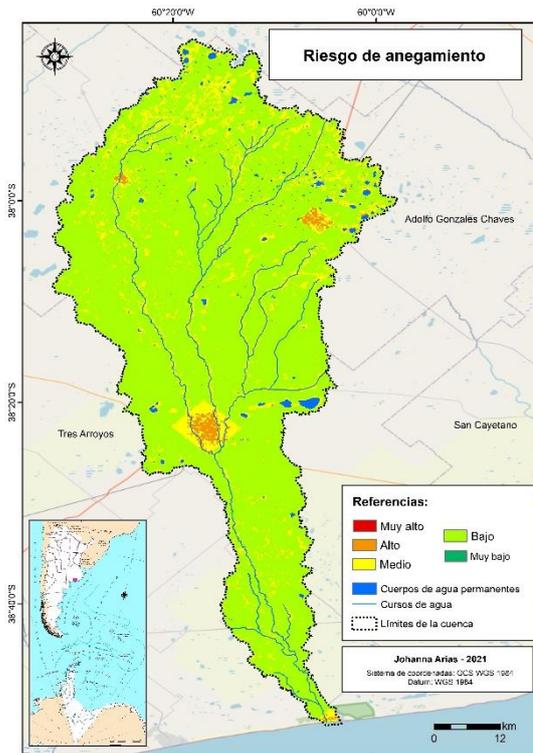
Figura 35
Riesgo ambiental de la cuenca del arroyo Claromecó



Fuente: Arias J., 2021

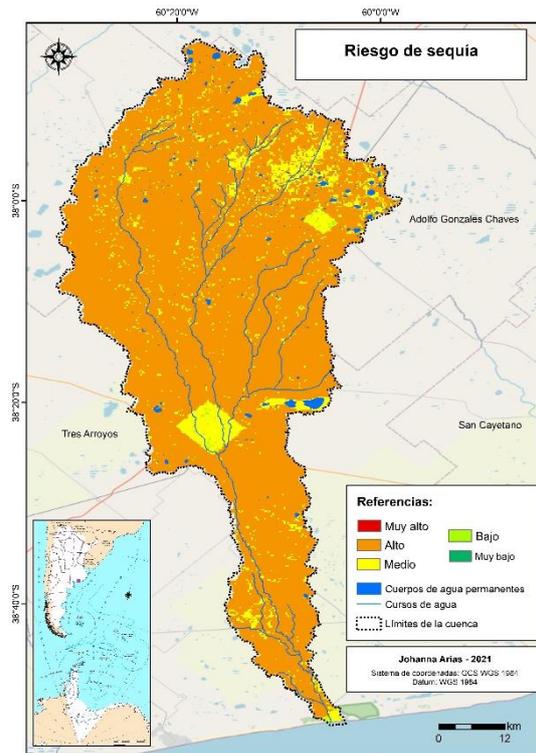
sectores de la cuenca alta, allí donde existe una mayor disponibilidad de agua en superficie como consecuencia del deficiente drenaje. De igual manera, el riesgo en las áreas urbanas está asociado a la vulnerabilidad moderada que presenta la población que, en gran parte, se dedica a labores vinculadas a las actividades agropecuarias.

Figura 36
Riesgo de anegamiento



Fuente: Arias J., 2021

Figura 37
Riesgo de sequía



Fuente: Arias J., 2021

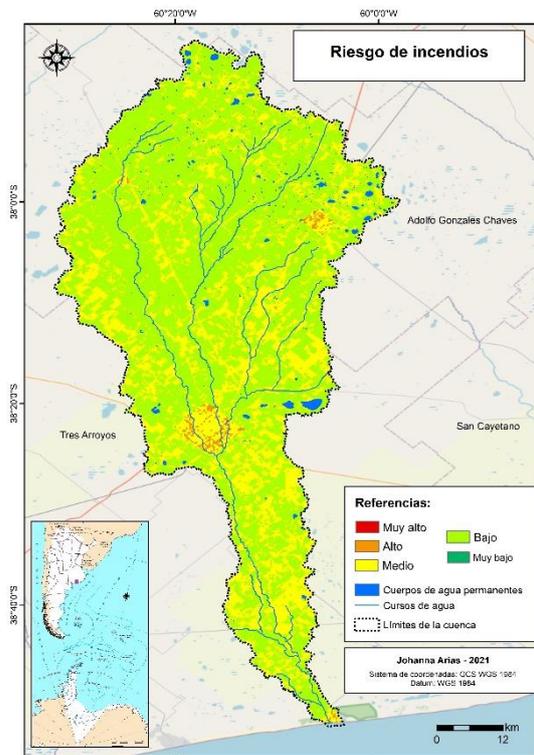
La figura 38 indica que el riesgo de incendios es entre bajo y medio en toda la cuenca del arroyo Claromecó. El riesgo aumenta en función de dos variables: la actividad fotosintética de la vegetación y de la sociedad. Este último ya sea como motivo de ignición o como principal damnificado. En tal sentido, algunos sectores de las áreas urbanas presentan un riesgo alto. Es en estos espacios donde coinciden una mayor probabilidad de que se origine un incendio y una población y recursos que puede verse afectada, como es el caso de la localidad de Claromecó y el Vivero Dunícola.

Por último, dado que el riesgo de erosión costera sólo es aplicable a un sector particular del área de estudio, la clasificación solo se presenta en el sur de la cuenca hidrográfica. Los resultados indican un riesgo alto y muy alto. El primero se observa en la localidad de Claromecó (Fig. 39), asentamiento de los principales damnificados por los efectos negativos

de la erosión sobre la costa. El riesgo muy alto se localiza en el sector de playa, espacio donde se desarrolla la problemática en sí.

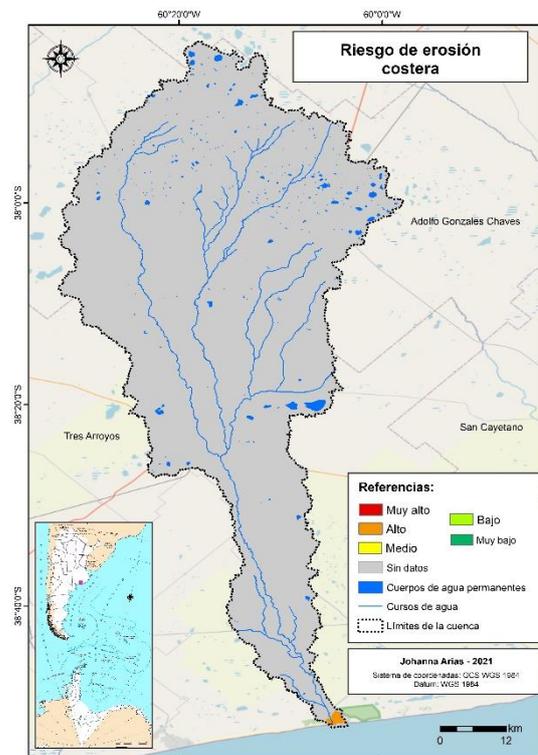
Considerando que un gran porcentaje del área de estudio se encuentra expuesto a una o más amenazas, es de vital importancia una planificación territorial que tenga como objetivo mitigar los efectos de estos fenómenos sobre el territorio a partir de una eficiente toma de decisiones. Para ello, es fundamental tener en cuenta lo presentado en los capítulos 4 y 5. En el caso de la vulnerabilidad, se propone una desagregación de las áreas estudiadas a partir de la identificación de los usos del suelo, permitiendo un mejor entendimiento de los bienes, recursos y población afectada.

Figura 38
Riesgo de incendios



Fuente: Arias J., 2021

Figura 39
Riesgo de erosión costera



Fuente: Arias J., 2021

CONCLUSIONES

El estudio del comportamiento ambiental de la cuenca del arroyo Claromecó a partir de un modelo geográfico y basado en la Teoría Social del Riesgo permitió una visión integral del riesgo ambiental. Es por ello, que la presente tesis representa una contribución en la planificación de medidas orientadas a la gestión del riesgo.

La topografía, la existencia de pendientes con orientaciones opuestas al sentido de la cuenca hidrográfica, la presencia de suelos con un deficiente drenaje superficial y las situaciones de hidromorfismo permiten que el agua precipitada quede retenida en la cuenca por colmatación del sistema lacustre o por exceso de agua en el suelo, lo que deriva en situaciones de anegamientos. Este fenómeno se ve reflejado en una peligrosidad de anegamiento alta en algunos sectores de la cuenca pese a una predominancia de las áreas con peligrosidad entre moderada y baja.

La cuenca del arroyo Claromecó presenta sectores con peligrosidad media y baja asociada a los eventos de sequía. En tal sentido, la amenaza disminuye a medida que la distancia a los cursos y cuerpos de agua es menor, señalando un claro patrón de distribución de la humedad del suelo y retención del agua que coincide con el subíndice de peligro de anegamiento. Existe un comportamiento propio de un área con un régimen hídrico subhúmedo seco, el cual presenta alrededor de 6 meses con disponibilidad de agua y 6 meses atravesando un periodo seco.

En referencia al subíndice de peligro de incendios, la amenaza es principalmente baja. Asimismo, existen sectores de la cuenca con una peligrosidad media los cuales están asociados a las vías de comunicación y a la actividad fotosintética de la vegetación. En cuanto a la zona costera, se caracteriza por presentar una peligrosidad muy baja dada la presencia de médanos (menor actividad fotosintética) y la ausencia de vías férreas (variable del factor humano).

Con respecto a la zona costera, la peligrosidad de erosión es moderada, siendo baja solo en algunos sectores. Los mismos se encuentran, en general, cerca de la desembocadura del arroyo o alejados del área urbana, lo que indicaría una menor influencia de la acción de la sociedad sobre el ecosistema costero, principal agente transformador.

A partir de un análisis integral de la cuenca bajo estudio, se afirma que la peligrosidad es baja. Sin embargo, destacan sectores con una probabilidad de amenaza moderada. Como resultado de los subíndices construidos, existe en la cuenca del arroyo Claromecó una mayor

probabilidad de que se desarrollen eventos de exceso o déficit hídrico, principalmente los asociados a fenómenos de anegamientos.

La vulnerabilidad es alta en toda la cuenca del arroyo Claromecó, tanto en el área urbana como en el rural, asociada principalmente a los eventos hidrológicos extremos, tanto de déficit como de excedentes hídricos. En el caso de la zona costera, registra una vulnerabilidad frente a los peligros baja, vinculada a su sensibilidad ante fenómenos de erosión costera y no así a los otros peligros analizados

Las áreas urbanas constituyen los territorios que presentan mayor vulnerabilidad ambiental, siendo los anegamientos los fenómenos que mayores perjuicios han generado. Las áreas rurales son vulnerables, principalmente, a periodos secos y húmedos que afectan el desarrollo de las actividades agropecuarias. Asimismo, estos territorios se ven amenazados por un aumento de la probabilidad de incendios como consecuencia de los déficits hídricos.

La cuenca del arroyo Claromecó presenta, en general, un riesgo ambiental moderado con algunos sectores con riesgo bajo. Los mismos están asociados a la acumulación del agua en superficie que constituye una amenaza o una defensa en función del peligro analizado. Los niveles de riesgo de anegamiento varían en función del sector. En el caso de las áreas rurales el riesgo está determinado principalmente por el peligro en sí, es decir, por la probabilidad de que el sector sufra problemas de anegamiento. En el caso de las áreas urbanas, el riesgo cobra mayor peso por la vulnerabilidad, teniendo en cuenta que existe un mayor número de personas y bienes que pueden ser afectados por los excesos hídricos. El riesgo de sequía es alto en un gran porcentaje de la cuenca. Asimismo, disminuye a moderado en los sectores con una mayor disponibilidad de agua en superficie. En cuanto al riesgo de incendios es entre bajo y medio en toda la cuenca, destacando algunos centros urbanos con áreas con valores altos donde coinciden una mayor probabilidad de peligro y una población vulnerable. De igual modo, el riesgo de erosión costera es entre alto y muy alto para la localidad de Claromecó y su costa.

Un factor a tener en cuenta para trabajos futuros es que la generación de modelos tiende a generalizar características espaciales y a simplificar la realidad espacial, por lo que a medida que se iba avanzando en la construcción del índice la generalización era cada vez mayor y disminuye el nivel de detalle. Asimismo, el análisis de diferentes fenómenos y dimensiones del riesgo en un mismo modelo, contribuyó en esta generalización de los resultados. Cada peligro demandó diversas metodologías que emplearon datos de diferente

origen y detalle (datos climáticos, información de sensores remotos, modelos digitales de elevación, entre otros) que debieron adecuarse a una escala común de análisis para su manipulación.

La cuenca hidrográfica como área de estudio es una delimitación adecuada para el estudio del riesgo ambiental, dado que permite incluir áreas urbanas, rurales y circunscriben los fenómenos asociados a la hidrografía. En efecto, este territorio se convierte en unidad de gestión en donde el efecto mariposa está siempre presente. Variaciones en un sector de la cuenca puede generar consecuencias tanto positivas como negativas en otra división de la misma, por lo que es necesario realizar un estudio y manejo integral de la misma.

Si bien una completa evaluación del riesgo, y de todas sus dimensiones, requiere un análisis más profundo y detallado de sus componentes, la construcción del modelo geográfico permitió un primer acercamiento al análisis espacial de la cuenca del arroyo Claromecó. La elaboración de cartografía de riesgo a partir de información geográfica, constituyen un aporte para la planificación y gestión del riesgo por parte de los municipios de Tres Arroyos y Adolfo Gonzales Chaves. Los productos informativos expresados a través de mapas de riesgo pueden ser utilizados para definir estrategias de inversión, definir usos del suelo, planificar medidas orientadas a la gestión del riesgo por parte de organismos públicos, privados o productores agropecuarios.

Para finalizar se puede afirmar que la presente tesis permite corroborar las hipótesis planteadas en el inicio de la investigación; “la alternancia de ciclos secos y húmedos asociados a cambios antropogénicos acentúan los riesgos ambientales en la cuenca del arroyo Claromecó” y “la construcción de modelos geográficos favorece la elaboración de medidas de planificación orientadas a la gestión del riesgo ambiental”.

BIBLIOGRAFÍA

ACADEMIA NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO. Informe técnico: “Estudio de la vulnerabilidad y programa de adaptación ante la variabilidad climática y el cambio climático en diez destinos turísticos estratégicos, así como propuesta de un sistema de alerta temprana a eventos hidrometeorológicos extremos”. Proyecto 165452. México.

AGUILAR LYNCH, M. G. 2016. Propuesta de un índice de vulnerabilidad costera aplicado a tres sectores de la Región Lima.

ALBISETTI, M. P. (2011). Peligrosidad, vulnerabilidad y riesgos en la costa norte de la ciudad de Mar del Plata, Argentina. Caso de estudio: playas Danilo y Sun Rider. *Geográfica digital*, 8(16), 1-11.

AMBROSIO, G., GONZÁLEZ J. y ARÉVALO V. (2002). Corrección radiométrica y geométrica de imágenes para la detección de cambios en una serie temporal. Málaga, España.

AMEGHINO, F. (1984). Las secas y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires. Ministerio de Asuntos Agrarios.

ANDRADE, M. I. (2008). Análisis de la evolución de los factores naturales y antrópicos de los eventos hídricos-inundaciones y sequías-desde una teoría social del riesgo. In V Jornadas de Sociología de la UNLP 10, 11 y 12 de diciembre de 2008 La Plata, Argentina. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Departamento de Sociología.

ARIAS, M. (2000). La Triangulación: Sus principios, alcances y limitaciones. *Revista Universidad de Antioquia*.

ARENAS, G. N., MASOT, A. N. y MARCOS, G. M. (2015). Análisis de incendios forestales mediante sistemas de información geográfica y teledetección. Estudio de caso en Sierra de Gata. *Tecnologías de la información geográfica en el análisis espacial.*, 247.

ARRANZ LOZANO, M. (2008). “El riesgo de inundaciones y la vulnerabilidad en áreas urbanas. Análisis de casos en España”. *Estudios geográficos*, vol. 69, no 265, p. 385-416.

BARRIONUEVO, J. F. S., y ROSELLÓ, M. J. P. (2017). Metodología para una cartografía de vulnerabilidad del territorio frente al riesgo de inundación relacionado con los sistemas

de socorro y asistencia. Aplicación al área inundable del Bajo Guadalhorce (2016). *Papeles de Geografía*, 157-178.

BATISTA, P. D., y DÁMASO, R. (2016). Algunas consideraciones sobre el comportamiento de la sequía agrícola en la agricultura de Cuba y el uso de imágenes por satélites en su evaluación. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 22-41.

BECK, U., GIDDENS, A. y LASH, S. (1994). *Reflexive modernization: politics, tradition and aesthetics in the modern social order*, Stanford, Stanford University Press.

BECK, U. (1998). La política de la sociedad de riesgo. *Estudios demográficos y urbanos*, 501.

BECK, U. (2001). Retorno a la teoría de la "Sociedad del Riesgo". *BAGE*, (30).

BELLIARD, M. (2016). *Estudios de población de la provincia de Buenos Aires. Population studies of the Province of Buenos Aires*. Buenos Aires: Ministerio de Economía de la Provincia de Buenos Aires.

BENSENY, G. (2008). Las urbanizaciones turísticas de litoral como escenario de riesgo. La remodelación del frente costero de Villa Gesell (Argentina). *Párrafos Geográficos*, 7(1), 1-33

BÉRTOLA, G. R., CORTIZO, L. C., e ISLA, F. (2009). Dinámica litoral de la costa de Tres Arroyos y San Cayetano, Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 64.

BERRIOLO, J. (2008). Informe mensual RIAP. Chacra Experimental Integrada Barrow (Convenio MAA - INTA). En línea: <http://www.carbap.org/archivos/Enero2008.pdf>

BILELLO, G., DEL CARMEN GONZÁLEZ, M., y ROMÁN, M. "Perfil productivo del partido de Tres Arroyos y posibles impactos del gerenciamiento integral de sus recursos hídricos.

BLAS MORATO, R. y NIETO MASOT, A. (2008). Mapa de riesgos de incendios forestales de la provincia de Cáceres. *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria, 488-501.

BODÍ, M. B., CERDÀ, A., MATAIX-SOLERA, J. y DOERR, S. H. (2012). Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: revisión bibliográfica. *Boletín de la asociación de Geógrafos Españoles*.

BORDA, M. R. (2016). Características meteorológicas de la zona de Barrow. *AGROBARROW* (58), 21 – 23.

BOULANDIER, J. J., ESPARZA, F., GARAYOA, J., ORTA, C. y ANITUA, P. (2001). Manual de extinción de incendios. Pamplona, España: Cuerpo de Bomberos de Seattle (2008). Estadísticas de incendios en edificios.

BUZAI, G. D. (2001). Geografía global. El paradigma geotecnológico y el espacio interdisciplinario en la interpretación del siglo XXI. *Estudios geográficos*, 62(245), 621-648.

BUZAI, G. D. (2015). Evolución del pensamiento geográfico hacia la geografía global y la neogeografía. En FUENZALIDA, M; BUZAI, G.D. y MORENO GIMENEZ, A. (2015). “Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones”.

BUZAI, G. D. (2015). Conceptos fundamentales del análisis espacial que sustentan la investigación científica basada en geotecnologías. En FUENZALIDA, M; BUZAI, G.D. y MORENO GIMENEZ, A. (2015). “Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones”.

BUZAI, G. D y GARCIA DE LEÓN, A. (2015). Balance y actualidad de la geografía cuantitativa. En FUENZALIDA, M; BUZAI, G.D. y MORENO GIMENEZ, A. (2015). “Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones”.

CALVO GARCÍA-TORNEL, F. (1984). La geografía de los riesgos. *Geo-crítica*, (54).

CAMPOS-VARGAS, M. (2015). “Riesgo socionaturales: vulnerabilidad socioeconómica, justicia ambiental y justicia espacial”. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 24 (2): 53-69.

Canalizaron el Arroyo para encauzarlo” (9 de diciembre de 2020). Radio Comunidad Claromecó. Recuperado en: <https://rcc979.com.ar/canalizaron-el-arroyo-para-encauzarlo/>

CARBONE, M.E. (2003). “Hidrografía del Arroyo Claromecó”. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Sur.

CARBONE, M. E y PÍCCOLO, M. C. (2002) “Morfometría de la cuenca del arroyo Claromecó, Provincia de Buenos Aires, Argentina”. *Revista geofísica*, no 56, p. 51.

CARBONE, M. E., y PÍCCOLO, M. C. (2010). Zonas de desbordes y anegamientos a través de cartografía hidrogeomorfológica. Caso de estudio cuenca del Arroyo Claromecó, Argentina. *Revista geográfica*, 23-42.

- CARBONE, M. E., PÉREZ, D. E., PICCOLO, M. C., y PERILLO, G. M. E. (2006). Comportamiento hidrológico del arroyo Claromecó, Argentina. *Investigaciones geográficas*, nº 39, 2006; pp. 179-193.
- CARRERA CASTILLO, W.H. (2017). “Modelación hidrológica de eventos de crecida para el sistema de alerta temprana ante inundaciones en la cuenca del río Catamayo”.
- CASTILLO, M., PEDERNERA, P., y PENA, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 19(3), 44-53.
- CENTRO DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS (CEDEX). (2013). Elaboración y mantenimiento de un sistema de indicadores hidrológicos y estudios para la identificación y caracterización de sequías. Caracterización hidrológica de sequías. Asistencia técnica, investigación y desarrollo tecnológico en materia de competencia de la dirección general del agua (2007 – 2011). Informe técnico para Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España.
- COHEN, M. A. (2017). Riesgo Ambiental: La aportación de Ulrich Beck. *Acta Sociológica*, 73, 171-194.
- CORTEZ, A. M. (2005). Sistema de Información Geográfico para la prevención y alerta de incendios en el Noreste Argentino (NEA). *Geográfica digital*, 2(3), 1-7.
- COY, M. (2010). “Los estudios del riesgo y de la vulnerabilidad desde la geografía humana: Su relevancia para América latina”. *Población y sociedad*, 17(1), 9-28.
- DEGIOANNI, A. J., *et al.* (2005). “Sistema de alerta temprana de inundaciones para el sur de Córdoba”. 1º Concurso Nacional en “Riesgo y Seguro Agropecuario”.
- DE GONZALO ARANOA, C. (2011). “Propuesta metodológica de modelización hidrometeorológica e hidrodinámica enfocada a la ordenación del riesgo de inundación: aplicación a la cuenca del río Pejibaye (Costa Rica)”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- DELGADO, A. L. (2009). “La relación sociedad- naturaleza en el sistema litoral de Claromecó: Problemáticas ambientales”. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca.
- DEPARTAMENTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE. (2010). “Manual para el diseño, instalación, operación, mantenimiento de sistemas comunitarios de alerta temprana ante inundaciones”. Organización de los Estados Americanos.

- EDIN CUADRA, D. (2014). Los enfoques de la Geografía en su evolución como ciencia. Revista Geográfica Digital. IGUNNE. Facultad de Humanidades. UNNE. Año 11. N° 21.
- ERREA, A. (2020, noviembre, 15) Tres inundaciones extraordinarias del Siglo XX. La Voz del Pueblo. Recuperado de: <https://lavozdelpueblo.com.ar/noticia/101115-Tres-inundaciones-extraordinarias-del-Siglo-XX>
- FERRANDO, F. J. (2006). Sobre inundaciones y anegamientos. Revista de urbanismo, (15), ág-25.
- FERRELLI, F., y ALIAGA, V. S. (2015). Variabilidad de las precipitaciones y sus efectos sobre la respuesta espacio-temporal de cuerpos de agua en la Región Pampeana, Argentina (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Luján).
- GARCIA MARTÍNEZ, B., CARBONE, M. E., PICCOLO, M. C., y PERILLO, G. M. E. (2008). Incidencia de la variabilidad hidrológica en la morfología de cauces del arroyo Claromecó (Buenos Aires, Argentina).
- GARRIDO MONAGAS, M., GÓMEZ CRESPO, M. y MÉNDEZ A. L. (2013). “Sistema automatizado de alerta temprana ante el peligro de inundaciones”. Ingeniería hidráulica y ambiental. Vol. XXXIV, N° 3. P. 30 – 43.
- GERALDI, A. M. (2009). “Estudio Geoambiental de la Cuenca lagunar las Encadenadas del Oeste”. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Sur.
- GÓMEZ, J. A. D (2003). “Estudio de la calidad del agua de las lagunas de gravera mediante teledetección”. Tesis doctoral. Universidad de Alcalá.
- GUTIÉRREZ, M., BACA, M., ROSALES, M., BONILLA, G., ESPINALES, E., MARTINEZ, O., GUTIÉRREZ, M. de los A., RIVAS, D., y RODRIGUEZ, I. (2005). Sequía meteorológica: Mapas de amenazas. Recomendaciones técnicas para su elaboración. Proyecto MET-ALARN. Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales, Managua (Nicaragua). Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Managua (Nicaragua).
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., COLLADO, C. F., LUCIO, P. B., VALENCIA, S. M., y TORRES, C. P. M. (1998). Metodología de la investigación (Vol. 6). México, DF: Mcgraw-hill.
- HERRERA, T. H., CRUZ, M. R. S. y ANTEQUERA, P. J. D. (2000). “La constatación y validación de los mapas de riesgo de avenidas en pequeñas cuencas hidrográficas mediante

sistemas de información geográfica”. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, (30), 135-154.

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. (2009). “Metodología para la elaboración de cartografía de peligrosidad por avenidas e inundaciones”. Memoria de proyecto METAVENIDAS.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (1994). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca Atlas del Suelo de la República Argentina, Tomo I. Buenos Aires.

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES (INET) (2005): Inundaciones Fluviales, Mapas de Amenazas Recomendaciones técnicas para su elaboración (en colaboración con la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación). Proyecto MET-ALARN INETER/COSUDE

IRUJO, N., y FARIAS, D. (2014). Claromec: diagnóstico y alternativas desde el sector público municipal para disminuir la estacionalidad y la escasez de inversiones (Doctoral dissertation).

JIMENEZ MARTÍNEZ, N. (2011). Evolución del impacto de la sequía sobre la vegetación natural mediante teledetección en el SE español. Tesis doctoral.

KOKOT, R. R.; ANGARAMO, D y VALLADARES, A. (2011). “Costa y ribera en Claromec, provincia de Buenos Aires”. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 2011, vol. 68, no 1, p. 72-83.

KRUSE, E., y ZIMMERMANN, E. (2002). Hidrogeología de grandes llanuras. Particularidades en la llanura pampeana (Argentina). In Workshop publication on Groundwater and Human development (pp. 2025-2038).

LA VOZ DEL PUEBLO (2002). Cien años de periodismo: centenario de La Voz del Pueblo 1902-2002.

Las sequías históricas en Barrow. (08 de abril de 2018). La Voz del Pueblo. Recuperado en: <https://lavozdelpueblo.com.ar/noticia/71981->

[Las%20sequ%C3%ADas%20hist%C3%B3ricas%20en%20Barrow](https://lavozdelpueblo.com.ar/noticia/71981-)

Lin Calel está aislada por el agua. (25 de agosto de 2014). LU24. Recuperado en: <https://www.lu24.com.ar/lin-calel-aislada-por-el-agua/>

LÓPEZ, F. J. D. V. (2012). Diseño de un modelo de riesgo integral de incendios forestales mediante técnicas multicriterio y su automatización en sistemas de información geográfica: una aplicación en la Comunidad Valenciana (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid).

MARDONES, M., y VIDAL, C. (2001). La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. *EURE* (Santiago), 27(81), 97-122. <https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612001008100006>

MÁRQUEZ REYES, R. (2008). Desastres naturales en Osorno: inundaciones y anegamientos en el sector urbano de Francke. Universidad de Los Lagos. *Espacio Regional. Revista de Estudios Sociales*, 5(2), 27-54.

MARTÍN, M. C. (2007). Valoración de la localización industrial en Tres Arroyos, Argentina. Factores históricos y actuales. *Revista Universitaria de Geografía*, 16, 147-175

MARTÍNEZ, B., CARBONE, M. E; PERILLO G. (2008). "Incidencias de la variabilidad hidrológica en la morfología de cauces del arroyo Claromecó (Buenos Aires, Argentina)". *Geographicalia*, No 54, p. 61-83.

MARTINEZ RUBIANO, M. T. (2015). La construcción del conocimiento científico del riesgo de desastre. Tesis. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá D.C., Colombia. MARTÍNEZ UNCAL, M. C. (2015). Monitoreo de tierras anegadas al noreste de la provincia de La Pampa, Argentina (Master's thesis)

MASSERA, C. B. (2018). Modelo ambiental con Sistemas de Información Geográfica aplicado a la gestión de riesgo de desastres urbano: el caso Comodoro Rivadavia (Chubut, Argentina) 2008-2017.

MERG, C., PETRI, D., BODOIRA, F., NINI, M., DÍEZ, M. F., SCHMINDT, F., MONTALVA, R., GUZMÁN, L., RODRIGUEZ, K., BLANCO, F. y SELZER, F. (2011). Mapas digitales regionales de lluvias, índice estandarizado de precipitación e índice verde. *Pilquen-Sección Agronomía*, (11), 5.

MERLOTTO, A., y BÉRTOLA, G. R. (2007). Consecuencias socio-económicas asociadas a la erosión costera en el Balneario Parque Mar Chiquita, Argentina

- MICHALIJOS, M.P. (2019). Estudio del riesgo de incendio forestal en un sector de la Comarca de la Sierra de la Ventana utilizando Geotecnologías. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Sur.
- MONTES, I. M; ARANGO, I. D. C. (2009). “Métodos en teledetección aplicada a la prevención de riesgos naturales en el litoral”. Servicio de Publicaciones del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- MORAGA PERALTA, J. C. (2010). Evaluación del riesgo ante incendios forestales en la cuenca del Río Tempisque, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(45), 33-64.
- MORALES, A. P. (2008). “Riesgo de inundación y políticas sobre el territorio en el Sur de la Región de Murcia” (Doctoral dissertation, Universidad de Murcia).
- MORALES, A.P. (2012). “Estado actual de la cartografía de los riesgos de inundación y su aplicación en la ordenación del territorio. El caso de la Región de Murcia”. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, no 58.
- MORALES SALGUERO, J. R. (2017). Determinación del Riesgo de Ignición y Propagación de Incendios Forestales en los Cerros Orientales de Bogotá a Través del Álgebra de Mapas y Simulación.
- MOREIRA, D., BRICHE, E., FALCO, M., ROBLEDO, F. A., MURGIDA, A., GATTI, I., ... y KAZIMIERSKI, L. (2014). “Anticipando la Crecida. Tools for the contribution in risk and disaster management due to southeasterly winds and precipitation floods in “La Ribera” district”, Buenos Aires.
- MORENO, D., QUIÑONES, E., TOVAR, L.C. (2014). “Los Sistemas de Alerta Temprana, SAT, una herramienta para la prevención de desastres por inundación y efectos del cambio climático”. *Ciencias e Ingeniería al Día*. 9(1), 07-24.
- MORENO GIMENEZ, A. (2015). Singularidades gnoseológicas de la praxis geotecnológica en la ciencia geográfica. En FUENZALIDA, M; BUZAI, G.D. y MORENO GIMENEZ, A. (2015). “Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones”.
- NATENZON, C. (1995). Catástrofes naturales, riesgo e incertidumbre. *Serie de Documentos e informes de investigación*, 197, 1-21.

- NATENZON, C. (2015). Presentación. En: NATENZON, C y RIOS, D. (Eds.) 2015. Riesgos, catástrofes y vulnerabilidades. Aportes desde la geografía y otras ciencias sociales para casos argentinos. Buenos Aires: Ediciones Imago Mundi, pp. IV-XXV
- ORTEGA, M. P. (2011). “Aplicaciones de la teledetección y SIG en la caracterización de humedales en la reserva de la biosfera de La Mancha húmeda”.
- PEDROSO, B. L., RIVERA, C. F., ROUCO, D. B., SOSA, M. H., ALTAMIRANO, R. B., SOLANO, O. J., y PEDROSO, C. G. (2015). El peligro integrado por sequía meteorológica y agrícola. *Revista Cubana de Meteorología*, 21(1), 3-17.
- PERALTA, J. C. M. (2010). Evaluación del riesgo ante incendios forestales en la cuenca del Río Tempisque, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(45), 33-64.
- PÉREZ BAYAS, S. P. (2017). “Diseño de un sistema de alerta temprana para la prevención de la población frente a inundaciones en el cantón Babahoyo”. Tesis de Licenciatura. PUCE, Ecuador.
- QUIROZ LONDOÑO, O. M., GRONDONA, S. I., MASSONE, H. E., FARENGA, M., MARTÍNEZ, G. y MARTÍNEZ, D. E. (2013): “Modelo de anegamiento y estrategia de predicción-prevención del riesgo de inundación en áreas de llanura: el sudeste de la provincia de Buenos Aires como caso de estudio”, *GeoFocus (Artículos)*.
- RADIO COMUNIDAD CLAROMECÓ [rcc979] (07 de enero de 2014). 6E [Estado de Facebook]. Recuperado de: <https://www.facebook.com/rcc979/posts/10153706707960323/>
- RANGEL BUITRAGO, N. G. y POSADA, B. O. (2013). “Determinación de la vulnerabilidad y el riesgo costero mediante la aplicación de herramientas SIG y métodos multicriterio”. *Intrópica*. 29 - 42.
- RAVELO, A. C., ZANVETTOR, R. E., y BOLETTA, P. E. C. (2014). Atlas de sequías de la República Argentina. Versión digital en www.crean.unc.edu.ar.
- RODRÍGUEZ, L. S., MONTENEGRO, R. J. V., y CAMACHO, M. R. (2018). La sequía agrícola, un instrumento en apoyo al manejo sostenible de los agroecosistemas. *Anuario Ciencia en la UNAH*,16(1).
- RODRIGUEZ, L. G. y RAMOS A. G. (2016). Análisis de potencialidad para desarrollar el turismo rural: el caso de dos comunidades de Argentina. *Revista Turudes: Turismo y Desarrollo*, n. 20 (junio 2016).

- ROHRMANN, H. R., y VALIENTE, M. M. A. (2005) La vinculación de estudios de recurrencia e imágenes satelitales en la elaboración de mapas de riesgo por inundación en áreas rurales de llanura. Primera Reunión de usuarios de Sistemas de Información Geográfica y Procesamiento Digital de Imágenes Satelitales (Fac. de Humanidades – UNNE).
- ROSELL, M.P. (2010). Artificialización del soporte natural y riesgo hídrico. Construcción de vulnerabilidades en la cuenca alta del Arroyo Pigüé. Tesis de magister en geografía.
- RUBIANO, M. T. M. (2011). “Los geógrafos y la teoría de riesgos y desastres ambientales”. *Perspectiva Geográfica*, 1(14), 241-263.
- SANTARELLI, S. y CAMPOS M. (2002). Corrientes epistemológicas. Metodología y prácticas en Geografía. Propuestas de estudio en el espacio local. Departamento de Economía. Universidad Nacional del Sur.
- SHAXSON, F., y BARBER, R. (2008). Optimización De La Humedad Del Suelo Para La Producción Vegetal-el Significado De La Porosidad Del Suelo (Vol. 79). Food & Agriculture Org.
- SILVEIRA, L., CHRETIES, C., CRISCI, M., USERA, G., ALONSO, G. (2015). “Sistemas de alerta temprana para previsión de avenidas en la ciudad de Durazno”. *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay*. 10 (56 – 63).
- SOSA, N.N., ZARATE M.A. y BEILINSON, E. (2017). Dinámica sedimentaria neógena y cuaternaria continental en la cuenca del arroyo Claromecó, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, volume 24.
- Tres Arroyos inundado: declararon “emergencia sanitaria” y ya hay 200 familias evacuadas. (24 de agosto de 2012). El retrato de hoy. Recuperado de: <https://elretratodehoy.com.ar/2012/08/24/tres-arroyos-inundado-declararon-emergencia-sanitaria-y-ya-hay-200-familias-evacuadas/>
- VEGA-JÁCOME, F. (2016). Análisis del riesgo de sequía en el sur del Perú.
- VELASCO, I., OCHOA, L., y GUTIÉRREZ, C. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. En *Región y Sociedad*, Vol. XVII, N.º 34, 2005, Sonora, El Colegio de Sonora, México.
- VICENTE LÓPEZ, F. J. D. (2012). Diseño de un modelo de riesgo integral de incendios forestales mediante técnicas multicriterio y su automatización en sistemas de información

geográfica: una aplicación en la Comunidad Valenciana (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid).

VILLANUEVA, A., CAZENAVE, G., y BILELLO, G. (1806). Valor económico del control de inundaciones en el Partido de Tres Arroyos, Pcia. de Buenos Aires, Argentina.

WILCHES- CHAUX, G. (1993). La vulnerabilidad global. In Los desastres no son naturales (pp. 9-50). Red de Estudios sociales en prevención de desastres en América Latina.