FCyT
Facultad de Ciencia y Tecnología

MAESTRÍA EN GEOMÁTICA APLICADA A LA GESTIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES

Trabajo Final de Maestría

"LOS RIESGOS DE INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO LUJÁN. NUEVAS FORMAS DE ANÁLISIS MEDIANTE TÉCNICAS DE LA GEOMÁTICA"

Requisito para obtener el grado de
Magister en Geomática Aplicada a la Gestión de Riesgos Ambientales
Resolución Nº 1461-12 Consejo Superior UADER

Lic. Elisabet Cintia Vargas
Licenciada en Geografía – UBA – 2011

Director: **Dr. Ricardo Castro**
Codirector: **Dr. Ignacio Gatti**

Diamante, Argentina
2025

A mi hijo Valentino,

combustible infinito en este camino, necesariamente sin prisa, pero sin pausa.

A mi papá Abrahan,

desde allá arriba procurando en mí el trabajo duro y con pasión.

ÍNDICE

RESUMEN 4
1. INTRODUCCIÓN 4
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS 7
3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 8
3.1. Ubicación de la cuenca del río Luján 8
3.2. Caracterización social 9
3.3. Caracterización físico – natural 13
4. ESTUDIOS PREVIOS SOBRE LA CUENCA DEL RÍO LUJÁN 19
5. MARCO TEÓRICO 24
5.1. El concepto de riesgo 24
5.2. La teoría social del Riesgo 27
5.3. Marco Conceptual para el análisis de inundaciones en el Río Luján 34
6. MATERIALES Y MÉTODOS 35
6.1. Metodología para el análisis de la Peligrosidad 36
6.2. Metodología del Análisis de la Exposición 45
6.3. Análisis de la Vulnerabilidad Social en toda la cuenca del río Luján 51
6.4. Análisis del riesgo 57
7. RESULTADOS 60
7.1. Validación del área de Peligrosidad propuesta 60
7.2. Determinación del área de Exposición 63
7.3. Resultados del análisis de la Vulnerabilidad Social 70
7.4. Resultados del análisis del riesgo 73
7.5. Resultados del análisis del Riesgo en los barrios RENABAP 76
8. DISCUSIÓN 83
9. CONCLUSIONES 87
AGRADECIMIENTOS 91
10. BIBLIOGRAFÍA 92
11. ANEXO 103

RESUMEN

La cuenca del río Luján es una de las cuencas más importantes del territorio nacional por su cercanía e influencia a la Región Metropolitana de Buenos Aires, sobre la misma se asientan casi 3 millones de habitantes. Desde tiempos históricos se registran inundaciones recurrentes, principalmente en la cuenca baja y media. La fundación de la villa de Luján hacía 1630 (Municipio de Luján, 2024) frente al río, instaló una forma de relación de la sociedad con el río.

El análisis del Riesgo ante inundaciones, desde hace varias décadas, se viene desarrollando desde una perspectiva centrada en la relación de la sociedad con el espacio reduciendo cualquier naturalización de las catástrofes. En este escenario, los instrumentos propuestos por la Teoría Social del Riesgo (TSR) reconceptualizada por Natenzon (1995; 2015), proporcionan un escenario sólido para analizar esta problemática ambiental. Esta propuesta teórica se apoya en el análisis de Peligrosidad, Exposición, Vulnerabilidad social y la Incertidumbre.

Esta cuenca experimentó desde finales de los años 90 un incremento acelerado de su urbanización, principalmente en la cuenca baja, junto con ello los riesgos de inundaciones han crecido principalmente a causa de una mayor presión antrópica sobre el territorio en todos los asentamientos desarrollados a lo largo de la cuenca. Por ello, el análisis se centra entre 1999-2020, tomando este último año como fecha de análisis de riesgo de inundaciones.

Para el análisis del riesgo se tomaron las componentes de Peligrosidad, Exposición y Vulnerabilidad social, cada una abordada con herramientas que ofrece la geomática. La Peligrosidad de base es el área propuesta por la Subsecretaria de Recursos hídricos de las Provincia de Buenos Aires, área validada mediante relevamiento de sitios inundados en bibliografía y artículos periodísticos, expresando los resultados en un Sistema de Información Geográfica; por otro lado, se utilizaron imágenes satelitales de fecha cercanas a inundaciones en el período de estudio, aplicando análisis visual y digital. La Exposición se determinó mediante la clasificación de suelo edificado en toda la cuenca, determinando áreas expuestas para diferentes fechas. La Vulnerabilidad se analizó utilizando el Índice de Vulnerabilidad Social ante Desastres, para todos los radios de la cuenca utilizando indicadores obtenidos a partir del último censo 2022.

El análisis final combinó las tres componentes analizadas, proporcionando un mapa de Riesgo donde se identificaron los barrios con riesgo más alto, superponiéndolos con los barrios RENABAP al 2020, obteniendo de esa manera cartografía útil con los barrios con mayor riesgo por partido, de todos los que cubren la cuenca de estudio.

1. INTRODUCCIÓN

La importancia del estudio de la cuenca del río Luján reside en su cercanía e influencia a la Región Metropolitana de Buenos Aires. Esta región geográfica concentra el asentamiento de aproximadamente el 35 % de la población nacional, según el último censo del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) en el año 2022 (INDEC, 2024).

El conocimiento de la dinámica de esta cuenca, de la ocupación histórica de sus valles de inundación y de la interrelación entre sociedad y naturaleza, es fundamental para identificar los conflictos ambientales más significativos que permitan otorgar herramientas para su adecuada gestión integral.

Un conflicto ambiental perjudica a varios sectores de la sociedad que ante una amenaza de origen natural o antropogénica se encuentran expuestos a sufrir una catástrofe. Los conflictos ambientales aquí estudiados son de origen hidrometeorológico: las inundaciones. Estas han sido recurrentes en la cuenca del río Luján a lo largo de su historia.

El análisis del Riesgo ante eventos de inundaciones se desarrolló a través de la Teoría Social del Riesgo (TSR) (Natenzon, 1995; 2015), siendo un marco interpretativo riguroso considerando componentes fundamentales para sus análisis, tales como la peligrosidad, exposición, vulnerabilidad social y la incertidumbre.

Se analizaron las inundaciones en la cuenca de estudio entre los años 1999 – 2020. Este recorte temporal responde a tres razones: la primera, responde a un período donde la cuenca atravesó por recurrentes inundaciones en las principales localidades que se asientan sobre ella. Segundo, en este período el crecimiento poblacional y su consecuente presión antrópica en zonas expuestas a lo largo de toda la cuenca, resulta considerable. Finalmente, es una ventana temporal de creciente registro bibliográfico, de naturaleza académica, gubernamental, periodística y de organizaciones civiles que aportan diversidad de información disponible; por su parte, en este período, ha emergido una gran disponibilidad de material satelital y geodatos libres que permiten analizar las diferentes dimensiones que componen el Riesgo con el marco conceptual utilizado.

El análisis de las dimensiones que componen el Riesgo ante inundaciones se desarrolló a partir de las herramientas, métodos y técnicas que ofrece la geomática. En primer lugar, este trabajo validó un área de peligrosidad de inundaciones en la cuenca del río Luján propuesta por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Buenos Aires, definida a partir de simulaciones de laboratorio con datos de un evento extremo de inundación acontecido en agosto

del 2015 (Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires, s.f). Esta validación se realizó, por un lado, georreferenciando puntos y zonas anegadas para todos los partidos que cubren el área afectada, ese dato se obtuvo a partir de información secundaria obtenida principalmente por los reportes periodísticos digitales; por otro lado, se han calculado índices espectrales con imágenes satelitales Landsat de fechas cercanas y posteriores a las inundaciones más importantes acontecidas en la cuenca en el período de estudio. En segundo lugar, las áreas expuestas con asentamientos humanos se determinaron a partir de la clasificación de imágenes de satélites Landsat y también se han utilizado técnicas de interpretación visual. Finalmente, mediante herramientas que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se construyó un Índice de Vulnerabilidad Social ante Desastres (IVSD) a partir del tratamiento indicadores sociales, económicos y habitacionales aportados por el INDEC, provenientes del último censo nacional, acontecido en el año 2022, este análisis permitió conocer nivel de vulnerabilidad social a escala de radio censal. Los tres productos cartográficos previos, permitieron calcular el Riesgo de inundaciones a lo largo de toda la cuenca mediante la superposición de capas temáticas con metodologías que permite la geomática. Se identificaron así los barrios con mayor riesgo a sufrir esos desastres.

Se pretendió determinar las potencialidades de las herramientas geomáticas para el análisis del Riesgo de inundaciones en una cuenca de carácter regional. Particularmente se reconocieron los alcances de los geodatos de carácter público y gratuito, así como del software libre QGIS, para el desarrollo de todo el análisis del riesgo de inundaciones en una cuenca urbano-rural, con una superficie superior a los 3000 km^2.

En este trabajo se presentará inicialmente una descripción físico-natural y social del área de estudio para continuar con los trabajos existentes en cuenca del río Luján asociada a riesgos de inundaciones. Estos trabajos fueron desarrollados por organismos oficiales y por la academia desde los años 80. Seguidamente se propone un marco interpretativo de la problemática, la Teoría Social del Riesgo (TSR), a partir del cual se plantean un conjunto de herramientas metodológicas asociadas a la geomática que permiten abordar el riesgo de las inundaciones en la cuenca en el período de análisis, entre 1999-2020. Finalmente se presentan los resultados, discusiones y conclusiones obtenidos a partir del marco teórico- metodológico empleado.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

En este contexto se proponen los siguientes objetivos para este Trabajo Final de Maestría:

Objetivo General

- Determinar áreas de Riesgo ante inundaciones en toda la cuenca del Río Luján mediante herramientas libres que ofrece la geomática.

Objetivos Específicos

- Determinar áreas de peligrosidad y exposición por inundación en la cuenca del río Luján utilizando sistemas de información geográfica y técnicas de procesamiento digital de imágenes satelitales.
- Analizar el crecimiento urbano en áreas inundables de la cuenca usando imágenes satelitales Landsat entre los años 1999-2020, tomando como ventanas temporales de análisis los años 1999, 2010 y 2020.
- Establecer mediante mapeos un Índice Síntesis de la Vulnerabilidad Social ante Desastres a nivel de radio censal para toda la cuenca, con datos provistos por el INDEC del censo 2022.
- Determinar mediante cartografía y a partir de combinación la peligrosidad, exposición y vulnerabilidad las áreas con diferente riesgo de inundaciones a lo largo de toda la cuenca del Río Luján.
- Identificar los barrios y asentamientos que poseen alto Riesgo de inundaciones para el año 2020.

Este trabajo parte de la siguiente Hipótesis:

Existen determinadas áreas urbanas, observadas mediante imágenes satelitales, cuyos núcleos han crecido en el período comprendido entre 1999 y el 2020, que se encuentran expuestas al peligro de inundación debido a que se erigen en la ribera del río Luján. Este proceso afecta a grupos sociales que poseen un alto grado de vulnerabilidad social, implicando un alto nivel de riesgo ante inundaciones por efecto de las crecidas del río Luján.

3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1. Ubicación de la cuenca del río Luján

La cuenca del río Luján se encuentra hacia el Noreste de la Provincia de Buenos Aires. Es una de las tres cuencas más importantes que atraviesa el área más poblada del país, la Región Metropolitana de Buenos Aires, junto con la cuenca del río Reconquista y la cuenca del río Matanza-Riachuelo. Se extiende principalmente de Oeste a Este, su coordenada Oeste más extrema es 34.60 S, 59.95 O y llega hasta la coordenada 34.37 S, 58.65 O en su extremo más oriental.

La cuenca interviene en la superficie territorial de 15 partidos de la provincia de Buenos Aires: Campana, Carmen de Areco, Chacabuco, Escobar, Exaltación de la Cruz, General Rodríguez, José C. Paz, Luján, Malvinas Argentinas, Mercedes, Moreno, Pilar, San Andrés de Giles, Suipacha y Tigre (Figura 3.1).

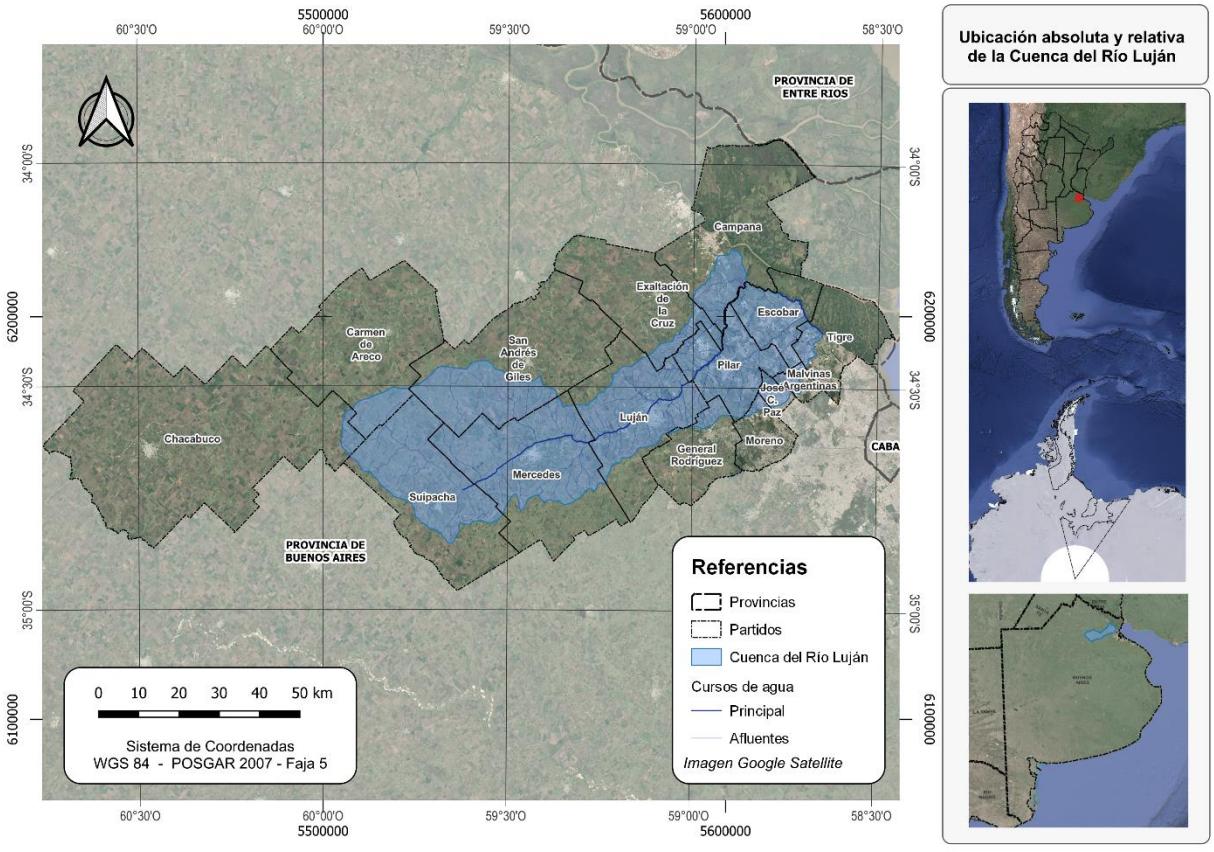


Figura 3.1. Ubicación absoluta y relativa de la Cuenca del Río Luján. Elaboración propia.

3.2. Caracterización social

3.2.1. Conformación demográfica

A partir de la información derivada del Censo 2022 (INDEC, 2024) se puede estimar la magnitud de población asentada dentro de los límites de la cuenca del río Luján. De los 15 partidos que cubre la cuenca, 4 partidos pertenecen a los 24 partidos del Gran Buenos Aires, constituyendo la subregión más poblada de la cuenca, y los restantes 11 pertenecen al resto de partidos de la Provincia de Buenos Aires. Entre todos los partidos suman una población total de 2.938.217 de habitantes (Tabla 3.1).

Partido	Población 2022
José C. Paz	326.992
Malvinas Argentinas	350.674
Moreno	576.632
Tigre	446.949
Campana	110.566
Carmen de Areco	17.499
Chacabuco	52.731
Escobar	256.268
Exaltación de la Cruz	40.159
General Rodríguez	142.709
Luján	111.008
Mercedes	72.980
Pilar	394.754
San Andrés de Giles	26.510
Suipacha	11.786

Tabla 3.1. Población total de los partidos que atraviesa la cuenca del río Luján. Censo 2022. INDEC 2024.

Si sólo se consideran los partidos que poseen un centro urbano dentro de los límites de la cuenca, el total de la población es de 1.997.921 habitantes. La distribución de la población está claramente concentrada en la cuenca baja, disminuyendo hacía la cuenca alta tal como se observa en la Figura 3.2.

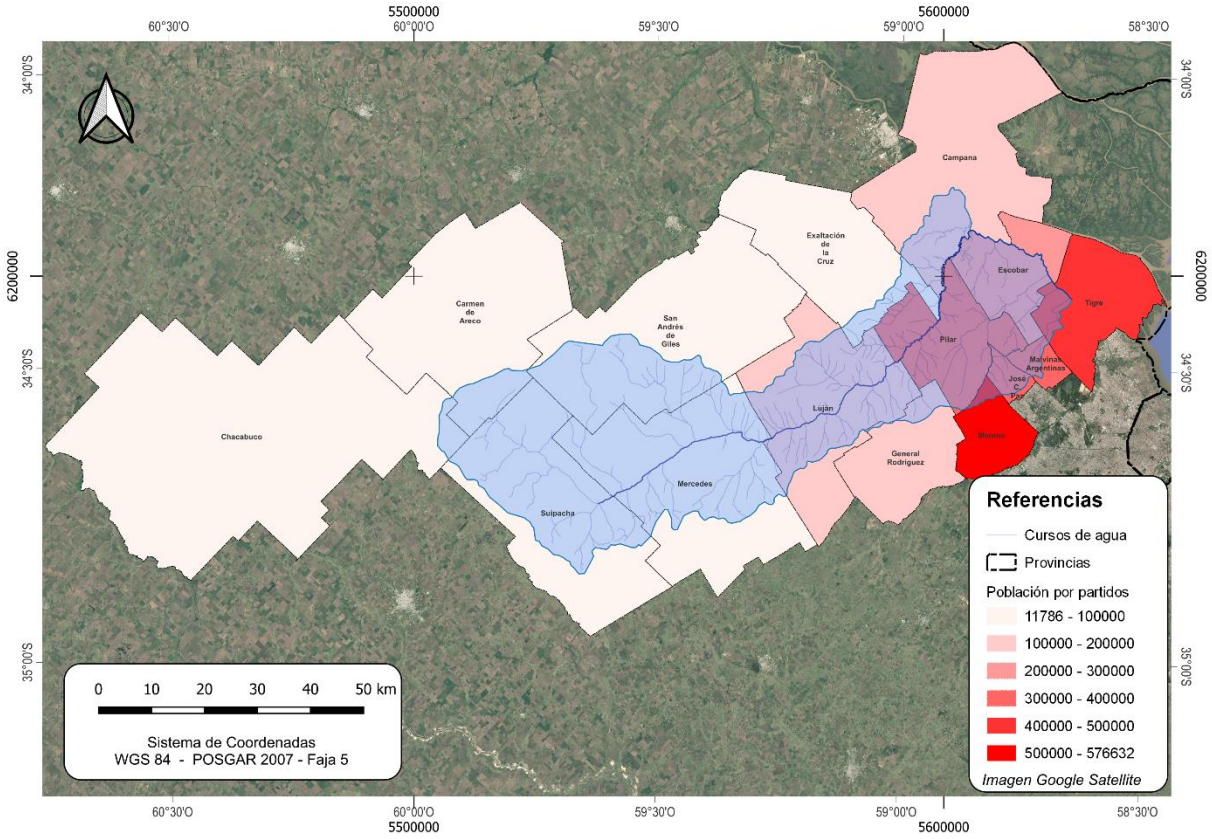


Figura 3.2. Distribución espacial de la población sobre la cuenca del río Luján. Datos Censo 2022 (INDEC). Elaboración propia.

3.2.2. Conformación socio-histórica

Los usos del río Luján fueron variando en el tiempo, en el período prehispánico funcionó como el área de transición cultural entre pueblos guaraníticos al norte, navegantes con una incipiente práctica de la agricultura, y los pueblos pampeanos al sur, cazadores y recolectores. Luego se comportó como una frontera natural entre el indio y la sociedad colonial. Recientemente, se conforma como una frontera entre el avance de la neoagriculturiación pampeana y los nuevos hábitats que enfatizan la segregación metropolitana (Carballo, 2014). Es decir, la cuenca señala la transición entre el área de influencia urbana de Buenos Aires con el interior del mundo rural, ubicándose en el Noroeste del aglomerado más importante del país, vinculándose en la actualidad con los extremos de la mancha metropolitana.

Por su parte, la conformación de la estructura rural se vio históricamente modificada, debido a la desaparición de los trenes en diversos pueblos del área de estudio y la llegada durante la década

de los 90 del paquete tecnológico en la producción agraria. Esto implicó la desaparición de pequeños y medianos productores de la escena rural y su inminente migración a los centros urbanos de mayor envergadura (Goldwaser, Soria y Chiasso, 2023).

Diversos autores han analizado la dinámica socio-territorial en los últimos 30 años de la cuenca (Ciccolella, 2007; Goldwaser, Soria y Chiasso, 2023). Destacan las transformaciones en las últimas décadas producto de los vaivenes económicos del contexto regional y nacional. A partir de los años 80 comienza un proceso de fragmentación para dar lugar a nuevas lógicas residenciales. Los espacios alejados del centro se van recalificando en este contexto, dando lugar a una nueva fisonomía urbana como consecuencia de los procesos de globalización. Empiezan a tener lugar los countries, con gran desarrollo durante los años 90 y de la mano de la inversión privada. Este crecimiento tiene lugar principalmente en los partidos de Tigre, Pilar y Escobar, es decir, en la cuenca baja.

Son ampliamente estudiados los conflictos inherentes a los cambios de uso de suelo en toda la cuenca en las últimas décadas (Di Franco, 2018; Buzzai y Lanzelotti, 2023), debido principalmente a la expansión urbana, al haber mejorado notablemente la accesibilidad a los centros urbanos mediante la construcción de autopistas.

3.2.3. Contexto económico-productivo de la zona de estudio

Las condiciones de relieve, clima e hidrología han desarrollado el ambiente natural de pastizal a lo largo de toda la cuenca, que se encuentra dentro la de Ecorregión Región Pampa y Subregión de la Pampa Ondulada (Brown y Pacheco, 2006). Esta región por sus condiciones físico-naturales se desarrolló como una región eminentemente agroproductiva. Aparte de la producción agropecuaria, también se desarrollan actividades industriales y, en los asentamientos urbanos, actividades asociadas a la producción de servicios.

Di Franco (2018) analizó, a partir de información satelital, usos del suelo para toda la cuenca de estudio, determinando que para 2015, un 82% de la superficie total de la misma posee uso agrícola y ganadero extensivo, y un 3 % de uso ganadero y agrícola intensivo. La superficie urbana e industrial representa el 12% del total de la superficie, la superficie restante corresponde a zonas húmedas y de uso forestal.

Rodríguez et al. (s/f) han identificado predominancia de actividades agropecuarias en la cuenca alta (partidos de Suipacha, Mercedes, Carmen de Areco, San Andrés de Giles y Exaltación de la Cruz). En la cuenca media, aparte de actividad agropecuaria, hay una fuerte presencia de

establecimientos industriales concentrados en zonas de uso industrial exclusivo o parques industriales, como es el caso de los Parques Industriales de Pilar y Luján y un sector de comercios y servicios concentrado en las áreas urbanas. La cuenca baja, comprendida por los partidos de Escobar, Tigre y parte de San Fernando y Malvinas Argentinas, posee una fuerte actividad industrial, encontrándose zonas de promoción como el Triángulo de Malvinas Argentinas y los Parques Industriales de Escobar (Centro Industrial Garín - Parque Oks) y Tigre.

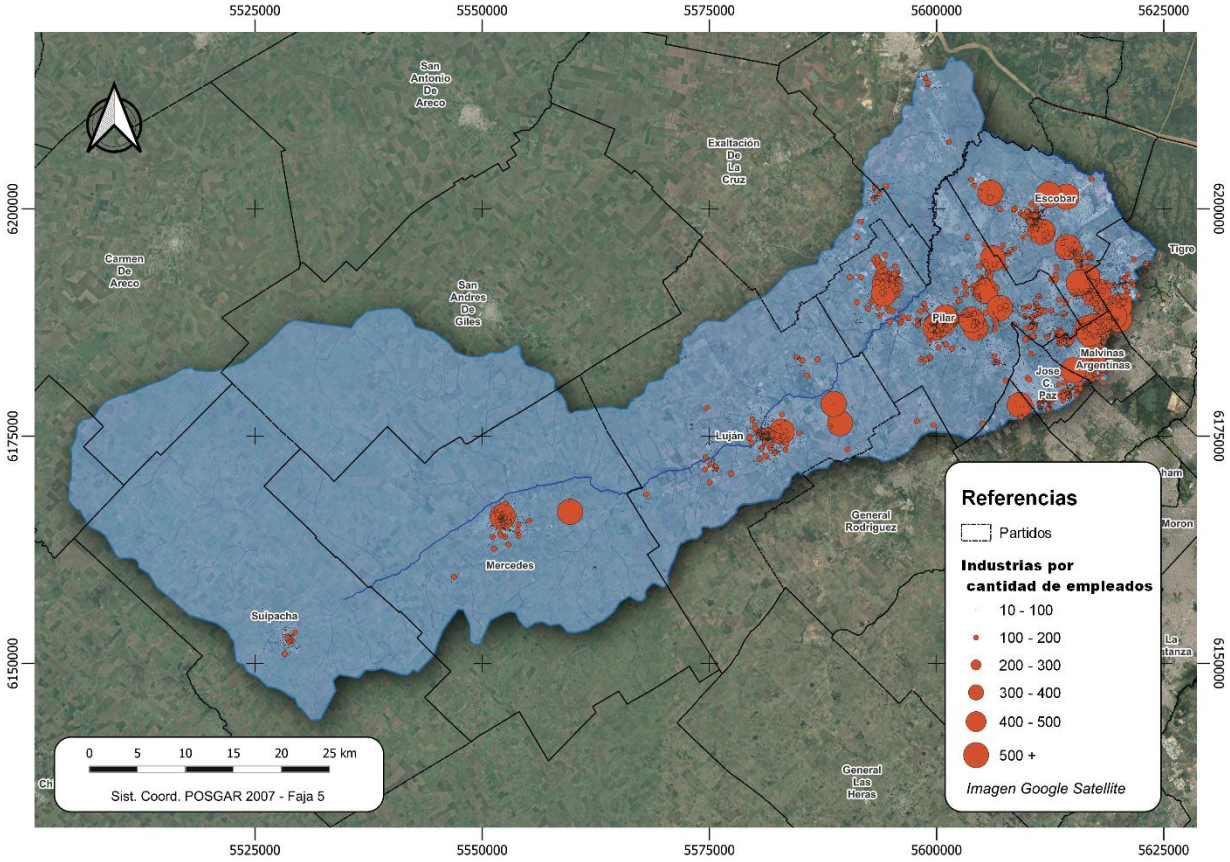


Figura 3.3. Distribución espacial de industrias a lo largo de la cuenca del Río Luján. Elaboración propia.

Según datos de la Secretaría de Industria y Desarrollo Productivo (2023), sobre la superficie de la cuenca hay 27.730 establecimientos productivos. Esta preeminencia se observa en la Figura 3.3, especialmente sobre la cuenca baja.

3.3. Caracterización físico – natural

3.3.1. Geomorfología e hidrología

El relieve de la cuenca del río Luján corresponde a una llanura, su topografía es suave con alturas máximas hacia el Oeste donde se encuentran sus nacientes a 61 metros sobre el nivel del mar, y disminuye hacía el Este con cotas que alcanzan el nivel del mar, según Modelo Digital de Terreno SRTM publicado por el IGN (2019) (Figura 3.4). La escorrentía superficial del río posee un rumbo de Suroeste al Noreste y luego de atravesar la ruta N°9 rota hacia el Sur en su cuenca baja, producto del avance de las facies deltaicas modernas (Silva Busso, 2010).

Esta cuenca se puede dividir en dos sectores geomorfológicos clave: la cuenca media y alta sobre la Pampa Ondulada de la llanura bonaerense y la cuenca baja sobre la zona de planicies costeras y llanuras deltaicas (Silva Busso, 2010; Carballo, 2014).

Siguiendo el criterio geomorfológico de diversos autores (Andrade, 1986; Sánchez Caro, 2014) se identifican tres tramos diferenciados en la cuenca del río Luján:

- Cuenca alta: posee unos 60 km de longitud y va desde las nacientes hasta la localidad de Jáuregui. Posee escaso drenaje y una pendiente media de 0,4 m/km. Esta parte de la cuenca corresponde a una llanura alta formada básicamente por sedimentos pampeanos.

- Cuenca media: mide unos 35 km y se extiende hasta la localidad de Pilar. Posee mayor pendiente media con unos 0,83 m/km. Su drenaje es mayor con un desarrollo más notorio en la margen norte. Es la parte de la cuenca que posee relieve más acentuado. Se encuentra surcada por una red de cursos secundarios, en general intermitentes.

- Cuenca baja: posee una menor pendiente tanto en el cauce principal como en sus afluentes, entre 0,05 - 0,16 m/km. Estos últimos son de tipo permanente, algunos de gran importancia como el Arroyo Escobar, Garín y Claro. El cauce del río se ensancha ampliamente en su recorrida antes de entrar en contacto con el Delta del Paraná, por donde continúa su curso hasta desembocar en el Río de La Plata.

Las nacientes del río Luján se encuentran en la confluencia de los arroyos El Durazno y los Leones en el partido de Suipacha. El río recorre una longitud total de 164,78 km antes de desembocar en el ambiente deltaico del río Paraná hasta llegar al río de la Plata, por lo que orienta su vertiente hacia el Sistema Gran Cuenca del Plata (Carballo, 2014).

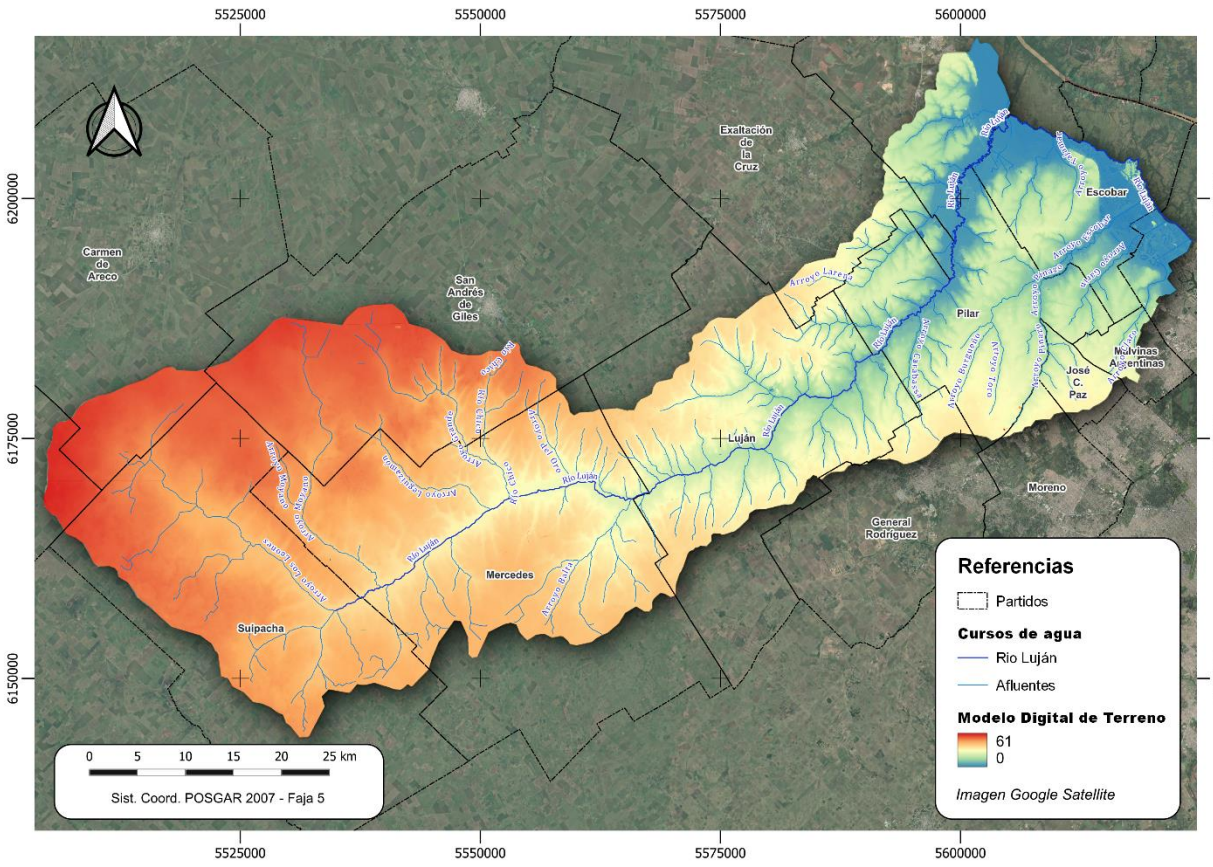


Figura 3.4. Modelo digital de Terreno y cursos principales y secundarios del Río Luján. Elaboración propia.

3.3.2. Geología y Suelos

Esta cuenca se conforma por sedimentos apoyados sobre un basamento cristalino fracturado, correspondiente a la Formación Martín García de origen precámbrico (2100 millones de años - ma) constituida por rocas metamórficas de grado intermedio (Silva Busso, 2010). Sobre este basamento se ubica la Formación Olivos (Mioceno inferior 20 Ma), de origen eólico y lagunar, extendiéndose entre los 115 y 404 m de profundidad, de predominancia arcillosa. Sobre esta se encuentra la Formación de Paraná, dominantemente arcillosa, ubicada entre los 52 y 115 m de profundidad. Luego se encuentra la Formación Puelches, con arenas cuarzosas, que dan lugar al acuífero más grande de la región, cuya profundidad se puede encontrar hasta unos 12 metros debajo de la superficie. Finalmente, próxima a la superficie se encuentra la Formación Pampeana, dividida en Formación Ensenadense y Formación Buenos Aires. La formación Ensenadense de origen fluvial, está compuesta por limos y loess. Puede observarse en la barranca de la planicie

de inundación del curso inferior y en la sección media de los cursos más importantes. La Formación Buenos Aires, presente en zonas altas de divisoria de agua, está compuesta por sedimentos de origen eólico (loess pardo amarillento) con mayor cantidad de arena y menos calcáreo que el anterior por lo tanto poroso y friable (Andrade, 1986; Silva Busso, 2010).

Andrade (1986) observa diferentes tipos de suelos en la terraza alta y la terraza baja de la cuenca. En la terraza alta se da lugar a loess y limos pampeanos, constituyendo los suelos de pradera ricos en materia orgánica y nutrientes con elevada aptitud agrícola. Desde Luján hacia el Delta, las pendientes están más acentuadas, desencadenando procesos erosivos, producto de la acción de los arroyos que desembocan en el río Luján y acentuado por las diversas actividades humanas (sobrepastoreo y remoción permanente de suelos, la edificación urbana y de infraestructura). En la cuenca inferior, sus materiales originarios corresponden en su mayor parte a limos y arenas. Sufren inundaciones periódicas y aperiódicas que provocan la salinización de los valles, con cloruros, carbonatos y sulfatos, y además originan variaciones permanentes del nivel freático (aproximadamente 2 metros).

3.3.3. Climatología

El clima en toda la cuenca es de tipo templado subtropical húmedo, tipo *Cfa*, según la clasificación de Köeppen-Geiger (Strahler y Strahler, 1994).

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) no posee ninguna estación meteorológica sobre el área de estudio que permita analizar con datos primarios el comportamiento del clima. Sin embargo, a pocos kilómetros de los límites del área de estudio y con condiciones ambientales similares a la cuenca baja, el SMN posee la estación meteorológica de San Miguel. Esta estación arroja temperaturas medias anuales de 17 °C, las temperaturas máximas medias van desde 30,1 °C en enero a 15,4 °C en julio; las temperaturas mínimas poseen su valor mínimo en julio con 5,9 °C y el máximo en enero 18,7 °C.

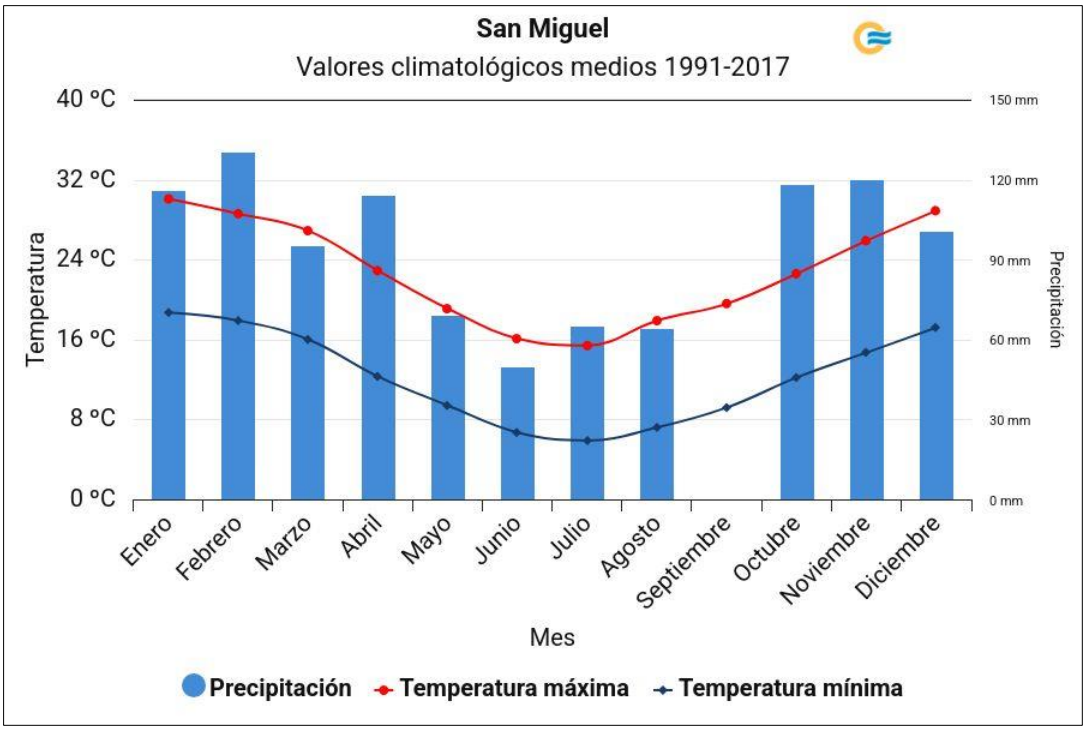


Gráfico 3.1. Climograma de San Miguel 1991-2017. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

Dentro de la cuenca en estudio Denegri et al. (2014), analiza datos de la Estación Agrometeorológica ubicada en la Universidad Nacional de Luján, con registros entre 1988-2015. La autora determina características climatológicas de la cuenca media. Las temperaturas máximas medias alcanzan los 30°C en enero y descienden hasta los 14,9 °C en julio; las temperaturas mínimas medias alcanzan su valor mínimo en julio con 4,4 °C y el máximo en enero 16,9 °C.

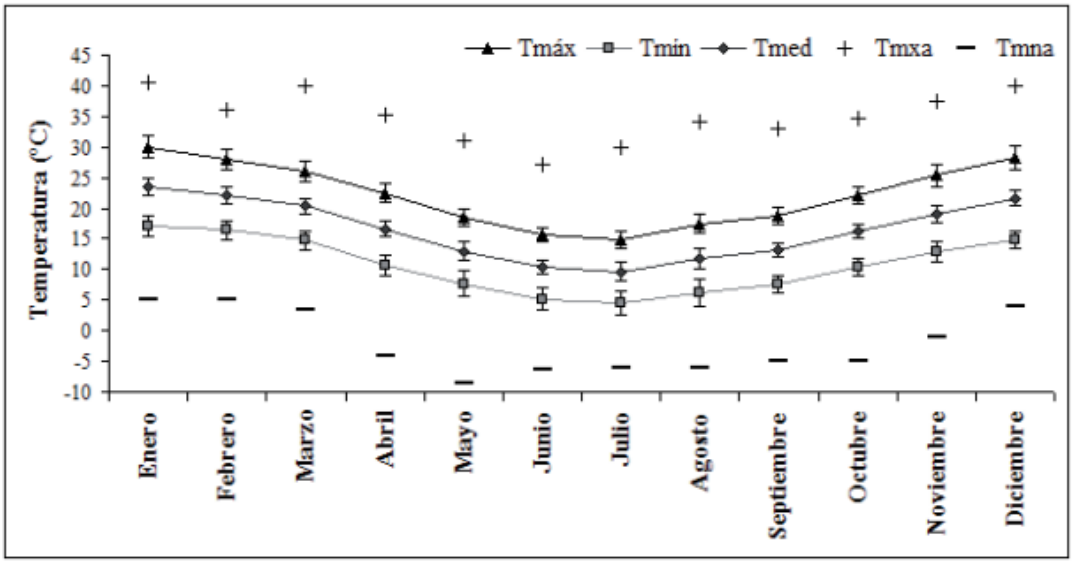


Gráfico 3.2. Valores medios mensuales de Temperatura, máxima, mínima y media para el período 1988-2015 en Luján. Fuente: Denegri et al. (2023) tomado de la cátedra de Meteorología Agrícola, UNLu.

Según Denegri et al. (2023), en Luján la humedad relativa siempre se encuentra por encima del 60%, con picos máximos en junio.

En cuanto al régimen de precipitaciones, en la cuenca baja, según el climograma de San Miguel (Gráfico 3.1) la precipitación acumulada media anual es 1045,8 mm, con un comportamiento distribuido regularmente a lo largo del todo año. Mientras que, en la cuenca media alta, según los datos obtenidos por Denegri et al. (2023) para la Estación Meteorológica de la UNLu, la precipitación media anual es de 1104,1 mm, donde se observa los máximos en otoño y los mínimos ocurren en invierno.

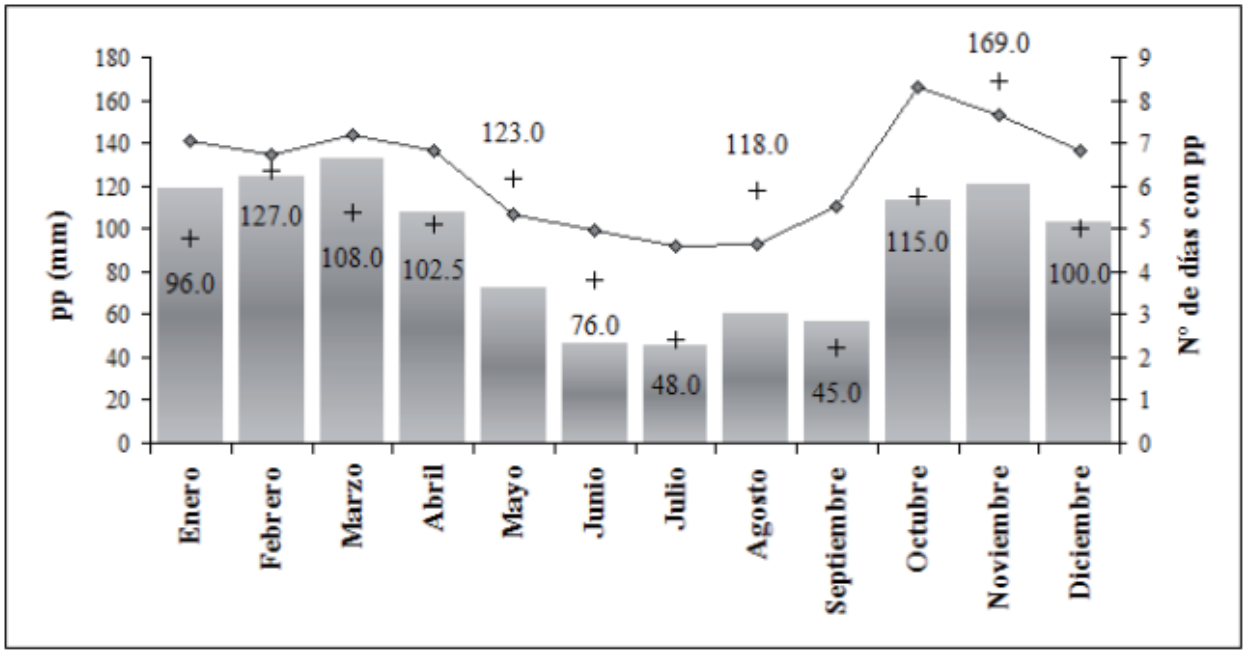


Gráfico 3.3. Precipitación media mensual (barras), máxima precipitación acumulada en 24 hs y número medio de días con precipitación en Luján para el período 1988-2015. Fuente: Denegri, et al. (2023) tomado de la cátedra de Meteorología Agrícola, UNLu.

Los meses de invierno las lluvias están asociadas a pasajes de frentes fríos, mientras que, en los meses más calurosos, la precipitación está asociada a fenómenos convectivos por el fuerte calentamiento de superficie, siendo estas precipitaciones más intensas (Denegri, et al., 2023)

Hay una alta relación entre los registros tomados por el SMN en cercanías de la cuenca baja (San Miguel) y la UNLu en su estación experimental, ubicada en la cuenca media (Luján). Considerando las probables diferencias mínimas en cuanto a calibración y metodología de registros, podemos afirmar que el clima es uniforme a lo largo de toda la cuenca, donde se observa una leve pero observable variación de las temperaturas mínimas hacia la cuenca media a causa de la mayor continentalidad.

4. ESTUDIOS PREVIOS SOBRE LA CUENCA DEL RÍO LUJÁN

El estudio sobre riesgo de inundaciones de la cuenca del río Luján posee abundante literatura tanto desde organismos oficiales, académicos, como de organizaciones sociales, desde que las inundaciones se manifiestan en la cuenca como una problemática ambiental que afecta a personas y bienes. El estudio de la cuenca ha sido abordado por múltiples instituciones públicas de diferentes escalas gubernamentales, se destacan los trabajos realizados a nivel nacional y por el gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Por parte de la academia, principalmente por la Universidad Nacional de Luján, se han desarrollado líneas de investigación tendientes a abordar diferentes aspectos sociales y ambientales de la cuenca, desde sus centros de investigación. Finalmente, la sociedad civil también produce información valiosa sobre las inundaciones como medio para generar herramientas y dar respuestas a esta problemática.

El Estado Nacional a través de sus organismos oficiales ha desarrollado documentos técnicos tendientes a caracterizar la cuenca, la probabilidad y el riesgo de inundaciones. Estudios del Instituto Nacional del Agua (INA) (Reyna, Spalletti y Brea, 2007; Sánchez Caro y Bianchi, 2014), produjeron mapas con delimitaciones de áreas con peligro de inundación a lo largo de toda la cuenca utilizando modelizaciones hidrodinámicas calibradas a partir de datos históricos de precipitación y caudal, y procesados con Sistemas de Información Geográfica. En sus estudios han determinado el grado de afectación ante eventuales crecidas y los riesgos asociados en la población y en las actividades productivas de la zona identificando herramientas que permiten plantear medidas estructurales y no estructurales para la gestión integral de los recursos hídricos.

La Provincia de Bueno Aires mediante el Comité de Cuenca del Río Luján (COMILU) y la Subsecretaria de Recursos Hídricos publicaron avances en cuanto a la gestión integral del riesgo de inundaciones en la cuenca proponiendo una metodología de análisis utilizando las categorías conceptuales de Amenaza, Vulnerabilidad, Exposición, Riesgo y Capacidad (COMILU, 2023). Amenaza es el factor externo, representado por la ocurrencia de un fenómeno o un evento adverso, en un momento y lugar específico, con una magnitud para ocasionar daños a personas, propiedades, medios de vida, trastornos sociales, económicos y ambientales. Por Vulnerabilidad se entienden las condiciones sociales de existencia de la comunidad y se comprende a través de características de la sociedad y su contexto, las cuales la hacen susceptible o predispuesta a sufrir daños y/o pérdidas frente a la ocurrencia de eventos (adversos), potencialmente peligrosos. La Exposición, será la situación en la que se encuentran las personas, infraestructuras, ecosistemas, sistemas productivos situados en zonas de incidencia potencial de las amenazas de origen natural, socio natural o antrópicas consideradas en análisis. La Capacidad, es la

combinación de saberes, habilidades, sistemas, atributos y recursos disponibles dentro de una comunidad u organización para atender, asumir, recuperarse y adaptarse ante grandes variaciones en las condiciones normales de vida, producto de una emergencia o desastre.

Como resultado, el análisis de riesgo propuesto contempla criterios asociados al impacto para personas, bienes, infraestructura y sistemas productivos; facilita la participación de múltiples actores; e incorpora información generada por organizaciones u organismos locales para la obtención de datos.

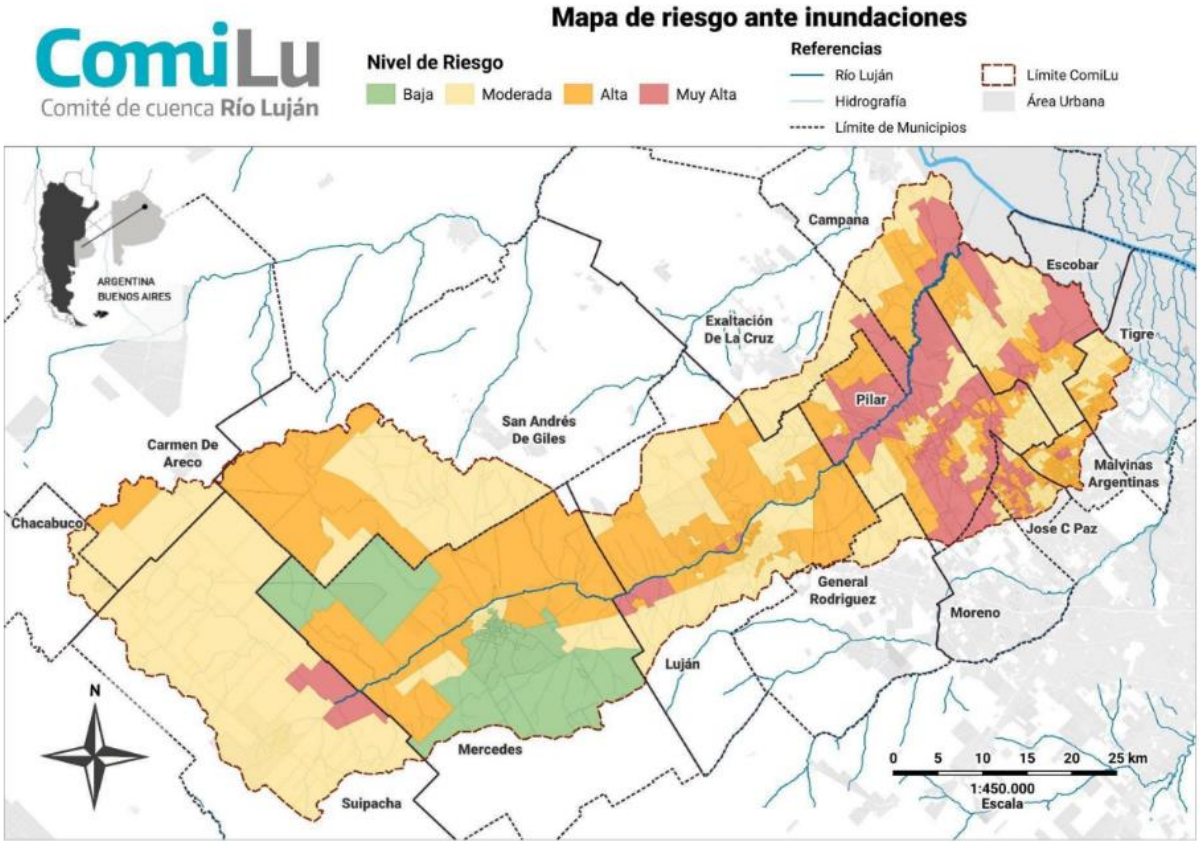


Figura 4.1. Mapa de Riesgo ante inundaciones en cuenca del río Luján. Fuente: COMILU, 2023.

Por su parte, la academia ha analizado las peligrosidades y los riesgos de inundación a lo largo de la cuenca desde hace varias décadas. Andrade, et al. (1986), en el marco de un convenio entre el Instituto de Geografía de la Universidad de Buenos Aires y la Municipalidad de Luján, analizaron los factores de deterioro ambiental de la cuenca para producir información útil para un manejo integrado de la misma. El trabajo presenta una descripción bien desarrollada de las condiciones de base físico-natural de la cuenca y de las instalaciones socio-económicas del

período de relevamiento. Si bien el documento posee más de 30 años, sus aportes esenciales siguen siendo pertinentes.

La Universidad Nacional de Luján es la institución con más trabajos desarrollados en torno a la cuenca de estudio por encontrarse dentro y en cercanía a la misma, lo que ha llevado a conformar equipos de investigación sólidos, como el Grupo de Estudios Ambientales de la Cuenca del Río Luján (GECLU), donde se han desarrollados tesis que la consideraron como objeto de estudio. Di Franco (2018) pone en relieve diversos aspectos a considerar para el manejo integral de la cuenca del río Luján utilizando herramientas de la geomática. Evaluó su potencialidad para la elaboración de indicadores de riesgo hídrico mediante imágenes satelitales de la familia Landsat entre 1985-2015, analizando una imagen por año y determinando mediante sumatoria de capas binarias Agua/no Agua, obtenidos a partir del índice MNDWI (Modificated Normalized Diference Water Index), las frecuencias de recurrencia de suelo cubierto con agua para toda la cuenca. Su producto resultante lo expresa en basta cartografía, como lo muestra la figura 4.2.

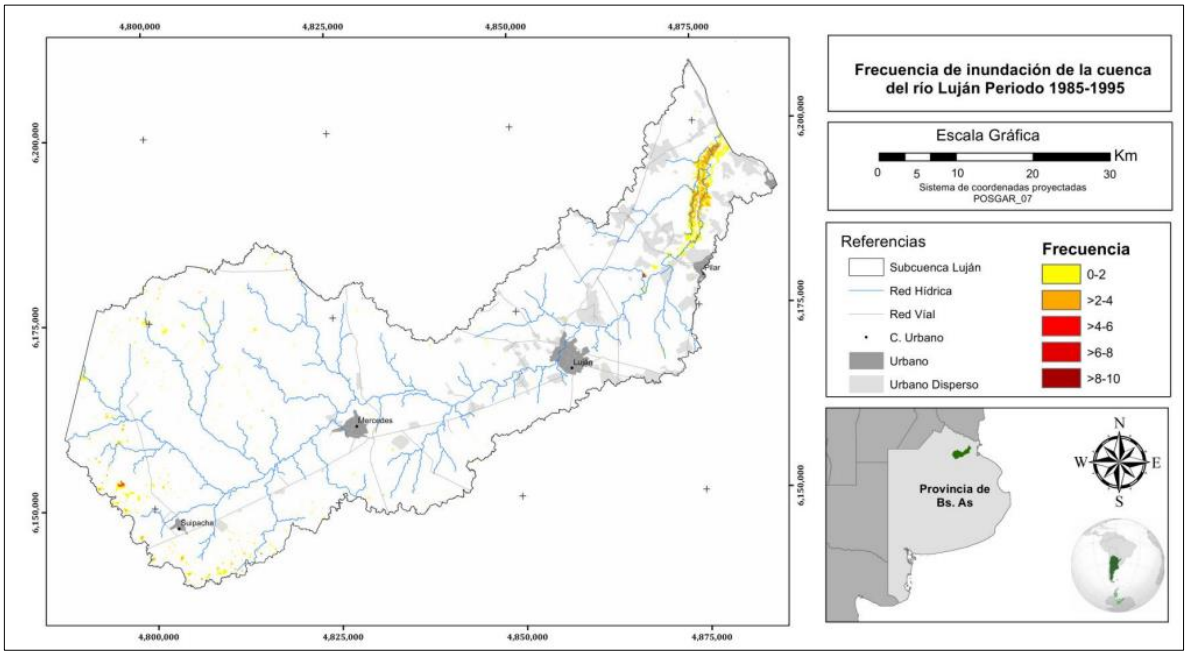


Figura 4.2. Frecuencia de inundaciones entre 1985-2015 para la cuenca del Rio Lujan. Fuente: Di Franco (2018).

El mapa de frecuencia de inundación de este periodo obtenido por Di Franco (2018) presentó los mayores valores en la cuenca baja, coincidente con la llanura de inundación. También observó que sobre la subcuenca alta se presentó alta frecuencia de cobertura de agua, ligada a tributarios

que alimentan el flujo hídrico del sistema fluvial del río Luján. Específicamente sobre el Sur de la ciudad de Mercedes y al Oeste de Suipacha se observa una alta frecuencia.

La UNLu ha condensado sus estudios en diversas publicaciones, el libro más reciente fue coordinado por Craig E. (2023), donde múltiples autores trabajan sobre los conceptos de inundaciones y riesgos. Buzzai y Lanzelotti (2023), han abordado los conflictos ambientales, productivos y patrimoniales antes de la expansión urbana en la cuenca del rio Luján. Buzzai (2023) realiza un diagnóstico socio-habitacional de la cuenca con datos del censo 2010 utilizando Sistemas de Información Geográfica.

Carballo y Goldberg (2014) también han recopilado trabajos que abordan diferentes perspectivas de análisis del riesgo ambiental sobre la totalidad de la cuenca. Como primera aproximación hacen un análisis de la cartografía de la cuenca en tanto la ubicación absoluta y relativa y en sus múltiples escalas para analizar los procesos tanto físico-naturales, como históricos y sociales que constituyen el riesgo.

Molero, Pereyra, y Marcomini (2022), analizan la susceptibilidad de la cuenca media y alta a las inundaciones debido a causas tanto naturales como a las modificaciones antrópicas sobre el sistema fluvial. Del análisis surge que el grado alto de susceptibilidad está en aquellos sectores se encuentran en las cercanías del río y sectores deprimidos ante eventos de precipitación extrema, considerando las acciones, procesos y factores mencionados en la Tabla 4.1.

Causas de inundaciones		***Acciones, Procesos y Factores***
Naturales	Climáticas	- Grandes precipitaciones - Sudestadas
	Geológicas y Geomorfológicas	- Suelos y materiales superficiales poco permeables - Bajas pendientes regionales - Crecidas del río Paraná en la zona del Delta
Antrópicas		- Impermeabilización por urbanización / Remoción de la cubierta vegetal - Rectificación de cursos - Obstrucción de cursos - Ocupación de zonas anegables - Remoción de la cubierta edáfica y compactación de los materiales superficiales - Acumulación de residuos en los causes - Puentes viales y ferroviarios que los convierten en diques.

Tabla 4.1. Causas de las inundaciones según acciones, procesos y factores que lo determinan. Extraído de Molero et al. (2022).

Los análisis referentes a la gestión territorial se encuentran presentes a través de Valverde (2017) que analiza la relación entre gestión del riesgo y la participación ciudadana. Muestra los escenarios complejos de riesgo ambiental en la cuenca superior y media del río Luján, tomando como caso las inundaciones ocurridas en el período 2012- 2015. La autora pone en evidencia la inadecuada gestión por parte de los organismos del Estado, la ausencia de planificación urbana y el desacople entre la producción de conocimiento científico y la elaboración de políticas públicas. En este contexto analiza la capacidad de respuesta de la población en particular y el accionar de las instituciones en general.

Otros autores (Ríos, 2010; Pintos y Narodowsky, 2012; Le Pera, 2015) profundizan el análisis de las tensiones y conflictos que surgen a partir del uso de tierras bajas y baratas para urbanizaciones cerradas que propician las inundaciones de la cuenca del río Luján. Específicamente analizan el impacto de los proyectos inmobiliarios privados desarrollados de las últimas décadas sobre los humedales en la cuenca baja. En la misma dirección Lucioni y Andrade (2015), analizan el riesgo hídrico de este sector de la cuenca a la luz de las vulnerabilidades institucionales que dieron lugar al uso inadecuado y desregulado del suelo.

Otros investigadores han abordado la peligrosidad, vulnerabilidad y el riesgo en algún partido o sector de la cuenca. El partido de Luján fue objeto de estudio de autores que proponen análisis más exhaustivos con datos de campo (Gatti, 2020; Principi, 2023). Gatti (2020) propone un análisis del riesgo de inundaciones en el partido Luján analizando la peligrosidad en tanto probabilidad de inundaciones mediante un modelo se simulación de inundación con datos de precipitaciones de períodos excepcionales, la vulnerabilidad la obtiene a partir del Índice de Vulnerabilidad Social ante Desastres (IVSD) desarrollado por Natenzon (1995) y Natenzon y Ríos (2015), donde se utilizan 10 indicadores de condiciones sociales para determinar la vulnerabilidad social por radio censal del partido de Luján. Finalmente, la exposición la diseña en función de un cruce entre densidad de población por barrio y cercana a los cursos de agua que atraviesan el partido. Principi (2023), analiza el riesgo de inundaciones en Luján a partir de relacionar el subsistema físico-natural, representando la amenaza de inundaciones mediante simulaciones de niveles de agua, y el subsistema humano, a partir de la caracterización de la vulnerabilidad socioeconómica de la población considerando variables económicas, educativas y habitacionales, utilizando un análisis multivariado. La determinación de diferentes niveles de riesgo la consigue mediante el modelado cartográfico para un escenario actual y futuro, este último calculando la mancha urbana hacia 2030 mediante el uso con autómatas celulares y redes neuronales.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. El concepto de riesgo

La ONU (Organización de las Naciones Unidas) mediante el Marco del Sendai para la reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, celebrado en junio del 2015, ofrece a los Estados miembros una serie de acciones concretas para accionar contra el riesgo de desastres. Sin embargo, no sólo es una responsabilidad del Estado, sino que debe compartirse con otros actores, tales como los gobiernos locales, el sector privado y otros grupos interesados (UNDRR, 2015).

Este marco establece 4 prioridades:

I. Comprender el riesgo de desastres.
II. Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionarlo.
III. Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia
IV. Aumentar la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y "reconstruir mejor" en los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción

De estas prioridades la primera es la que establece los conceptos ordenadores que permitirán acceder al conocimiento del riesgo de desastre y su aproximación al territorio. Comprender el riesgo de desastres involucra hacer foco en todas sus dimensiones de vulnerabilidad, capacidad, grado de exposición de las personas y los bienes, las características de las amenazas y el entorno. Ese conocimiento se puede aprovechar para la evaluación, la prevención y la mitigación del riesgo, así como para la preparación y la respuesta en caso de desastres.

Este acercamiento a la categoría conceptual de *riesgo* es parte de un nuevo paradigma que comenzó desde hace un par de décadas donde los problemas ambientales dejan de centrarse en el análisis de los fenómenos físico-naturales extremos, para analizar las formas en las que la sociedad se organiza y establece su relación con la naturaleza.

Desde hace un par de décadas algunos autores, desde el norte global (Beck 1992, Giddens 1994), han impulsado esta perspectiva del riesgo con enfoque social. Varios investigadores locales han trabajado con gestión de riesgo de desastres (Natenzon, 1995, 2015; González, 2009; Ríos, 2009) bajo este nuevo paradigma de la Teoría Social del Riesgo.

En este escenario conceptual el riesgo se construye social e históricamente. El desastre es un proceso y un producto que manifiesta el nivel de riesgo que existe en una sociedad, debido que permite comprender cómo se fueron conformando las condiciones del riesgo en el tiempo y

prospectivamente. El riesgo es un producto de conflictos de intereses, bienes y accesos diferenciales, público y privado (Herzer, 2011).

Existen múltiples abordajes al concepto de riesgo. El análisis del riesgo por lo general está compuesto por una serie de variables, entre las que más se repiten están la amenaza y la vulnerabilidad.

- La UNDRO (United Nations Disaster Relief Organization) en 1979 (Cardona, 1993), plantea que el riesgo puede llevarse a cabo mediante la siguiente formulación general (1):

$$Riesgo\ total\ (Rt) = (E)(Rs)\ =\ (E)(H\ *\ V) \quad (1)$$

Donde:

- Riesgo total (Rt) es el número de pérdidas (humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica) debido a la ocurrencia de evento desastroso, es decir el producto del Riesgo Específico (Re) y los elementos bajo riesgo (E).
- Amenaza (Hazard - H), definida como la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado.
- Vulnerabilidad (V), como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total.

Riesgo específico (Specific Risk - RS), es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la Amenaza y la Vulnerabilidad.

Elementos bajo riesgo (E), como la población, las edificaciones y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta en un área determinada.

- Wilches-Chaux (1993) define el riesgo como "*cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a ese fenómeno*". El autor agrega a la fórmula (2) la capacidad de preparación, considerando que el riesgo no siempre se puede reducir o eliminar:

$$Riesgo\ =\ A * V\ /\ CP \quad (2)$$

Donde:

- A: amenaza

- V: vulnerabilidad
- CP: capacidad de preparación

- Para la Organización de Estados Americanos (1993) los estudios del riesgo descansan sobre el análisis de la Amenaza y la Vulnerabilidad.

El Riesgo es generalmente definido como la probabilidad de pérdida. En términos económicos esto se refiere a una disminución del ingreso debido a pérdidas que resultan de un peligro natural. Aunque hace referencia a la incertidumbre en las variables usadas para la planificación económica. Por ejemplo, al evaluar los beneficios y costos de un proyecto de irrigación, los precios y las cosechas de los cultivos agrícolas pueden fluctuar durante la vida del proyecto. Estas fluctuaciones pueden ser causadas tanto por eventos naturales, como también por las condiciones cambiantes del mercado y de los ciclos climáticos.

- Aneas de Castro (2000), afirma que el riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un peligro, añade que el concepto incluye la valoración por parte del hombre en cuanto a sus efectos nocivos (vulnerabilidad).

Sólo se puede definir el riesgo al contar con datos adecuados para calcular probabilidades, mientas que cuando no se cuenta con esos datos, existirá incertidumbre.

- Lavell (2001), define riesgo como un contexto caracterizado por la probabilidad de pérdidas y daños en el futuro, las que van desde las físicas hasta las psicosociales y culturales, el autor centra el análisis del concepto en la "posibilidad", que está sujeta a análisis de tipo cuantitativo y cualitativo.

Para el autor la magnitud del riesgo está en función de la magnitud de las amenazas y las vulnerabilidades, y al igual que el riesgo, constituyen condiciones latentes en la sociedad. O sea, la amenaza es la posibilidad de ocurrencia de un evento, no el evento en sí, y la vulnerabilidad es la propensión de sufrir daño, no el daño en sí. Todas las categorías se refieren a una potencialidad o condición futura, aunque su existencia es real como condición latente.

- Por su parte, Renda, et al. (2017) para el PNUD y Ministerio de Seguridad de la Nación elaboró un Manual para la elaboración de mapas de riesgo donde señala la ecuación para medir el riesgo de desastres en la cual se integran los conceptos: amenaza, vulnerabilidad, exposición y resiliencia:

$$Riesgo\ de\ desastre = \frac{(\text{Amenaza} * \text{Vulnerabilidad} * \text{Exposición})}{\text{Resiliencia o Capacidad de Afrontamiento}} \quad (3)$$

5.2. La teoría social del Riesgo

En el año 1995, Natenzon y colaboradores fueron realizando su propio recorrido conceptual a partir del estudio de la Teoría Social del Riesgo desarrollado inicialmente por Beck (1998) y Giddens (1993), para incorporar otras dimensiones. En el marco del PIRNA (Programa de Investigaciones en Recursos Naturales) dependiente del Instituto de Geografía de la Universidad Buenos Aires), buscaron interpretar el riesgo incorporando el rol de las decisiones sobre lo que no se conoce técnicamente, es decir de orden político y participativo de todos los actores involucrados ante un escenario catastrófico. Esta dimensión se vincula con la incertidumbre. El primer trabajo de Riesgo consolidado es presentado en 1995, donde se expone el Riesgo como resultado de interacción de cuatro dimensiones de estudio (4): Peligrosidad, Exposición, Vulnerabilidad e incertidumbre.

$$Riesgo = Amenaza + Vulnerabilidad + Exposición + Incertidumbre \quad (4)$$

Conocer el Riesgo desde este posicionamiento conceptual permite anticipar, prevenir y mitigar posibles resultados no deseados en el uso del ambiente, sus bienes y servicios.

En las décadas siguientes el marco conceptual ha ido cambiando y enriqueciéndose. Los siguientes desarrollos teóricos metodológicos del PIRNA encontraron la necesidad de incrementar su complejidad debido al impulso de varios ejercicios vinculados con el estudio de riesgos y catástrofes específicos. Los trabajos de esa trayectoria fueron los vinculados a las inundaciones de Santa Fe (Viand, Calvo y Natenzon, 2009; Calvo, 2013), a procesos geohidrológicos en Iruya (Murgida y Gasparotto, 2015), a los probables impactos del Cambio Climático en nuestro país en las comunicaciones Nacionales como se consolidó en la Tercera Comunicación (Secretaría de Ambiente de la Nación, 2015); entre otros intercambios con investigadores de la región. La participación del PIRNA en los organismos estatales responsables de la gestión del riesgo durante la década del 2000 han enriquecido la propuesta inicial (Natenzon y Ríos, 2015).

Esta re-conceptualización se vio plasmada en primer lugar en la jerarquización de las componentes, ya dejan de ser simples dimensiones. Debido a que la Exposición y la Incertidumbre son más complejas y porque surgen como resultado de la Peligrosidad y Vulnerabilidad. En segundo lugar, el reconocimiento de la Exposición como componente independiente, en tanto expresión territorial de la combinación histórica de peligrosidad y vulnerabilidad que configuran la primera aproximación al riesgo. Finalmente, la incertidumbre, en

tanto componente central de la relación teoría – praxis durante la gestión del riesgo (Natenzon, 2015).



Gráfico 5.1. Principales aportes de la Teoría Social del Riesgo y referentes teóricos. Extraído de Zilio. y D'Amico, 2022

En este marco de conceptualización más madura, propuesto por el PIRNA, se construye la definición de riesgo desde la cual se analizarán las inundaciones en la cuenca del Rio Luján, tomando en consideración las componentes de peligrosidad, vulnerabilidad y exposición. La incertidumbre no se analizará en este trabajo, aunque se detalle a continuación.

5.2.1. Peligrosidad

La cualidad amenazante de un fenómeno de origen natural o antrópico que desencadena el desastre (González, 2009) es la peligrosidad. Es el proceso o factor disparador del riesgo. Para el análisis de estudio esta peligrosidad es estudiada por las ciencias naturales.

Cuando hablamos de peligrosidades de origen físico-natural definimos aquellos que rigen la geografía física y que ocurren en un área poblada o con infraestructura que puede ser dañada, como el que da lugar a las inundaciones a causa de precipitaciones intensas en períodos de tiempo relativamente estrechos.

Estos fenómenos poseen características cuantificables: magnitud (física), duración (tiempo), extensión, dispersión espacial, frecuencia o recurrencia y velocidad de implantación (Natenzon, 2013).

Lo métodos de análisis de esta dimensión provienen de las ciencias físico-naturales, específicamente de las ciencias aplicadas. Siguiendo a Natenzon (1995), el análisis del ciclo hidrológico y sus relaciones con la morfología de las llanuras inundables permitirán acercarse al análisis el peligro de inundación.

Las inundaciones producto de eventos de lluvias extremas sobre la cuenca del río Luján, se determina como la peligrosidad. Esta posee determinada frecuencia, recurrencia, extensión espacial y velocidad de implantación. La inundación del 2015 fue la más grande del período analizado, donde se determinó su extensión y dispersión espacial.

El análisis de la peligrosidad puede ser estudiado mediante modelos, mapeos de comportamientos utilizando herramientas y técnicas empleadas en la actualidad mediante teledetección y SIG. El producto final tiene como componente principal la expresión cartográfica asociada a una base de datos que da cuenta de la peligrosidad analizada.

Sin embargo, este concepto de peligrosidad implica a un sujeto que lo defina como tal, por lo cual es necesario conocer la otra dimensión del riesgo que es la Exposición. Es decir, la distribución de asentamiento, humanos, instalación equipamientos infraestructuras, redes de servicios, objetos propios de la sociedad moderna.

5.2.2. Exposición

Ante una peligrosidad están en peligro todas las personas y bienes materiales que están al alcance espacial de este fenómeno. Es decir, todo que es potencialmente destruible, herible o dañable en el área de acción de la amenaza (Natenzon, 2015). Según González (2009) exposición no sólo es la mera distribución espacial, sino de un proceso histórico en el que se conjuga la construcción de vulnerabilidades, la incidencia de peligrosidades y la interrelación entre ambas. Esto se observa en la descripción de la causalidad de los constructos sociales en la exposición definida originalmente por Natenzon (1995) (Tabla 5.1)

En el estudio de riesgo inundaciones las imágenes satelitales permiten reconocer en forma directa y rápida la distribución de aglomerados urbanos y asentamientos rurales potencialmente expuestos en un área determinada de estudio.

Causalidad de constructos sociales	
Configuración de los procesos incluidos	- Uso de suelo - Modificaciones en los procesos naturales (escurrimiento, topografía, cobertura vegetal)
Aspectos de las configuraciones en tanto desastres	- Infraestructuras - Producción agropecuaria - Cobertura vegetal, natural e implantada; forestaciones - Industrias - Asentamientos humanos - Servicios públicos

Tabla 5.1. Causalidad de los constructos sociales en la Exposición. Extraído de Natenzon (1995)

5.2.3. Vulnerabilidad

El concepto de vulnerabilidad refiere a la incapacidad de una comunidad determinada para responder adecuadamente ante la presencia de un riesgo determinado, con el consecuente "desastre". Esta situación responde a un sistema dinámico, que surge como consecuencia de la interacción de una serie de factores y características (internas y externas) que convergen en una comunidad particular. En principio se puede hablar de una conjunción de vulnerabilidades que en sumatoria dan lugar a una Vulnerabilidad Global (Wilches Chaux, 1993).

Según Wilches Chaux (1993), es posible abordar la vulnerabilidad desde diferentes ángulos, siendo siempre la interacción entre ellos sumamente alta. La *Vulnerabilidad Natural*, asume que todo ser vivo requiere determinadas condiciones ambientales para vivir, por lo que el nivel de desarrollo alcanzado por esa sociedad es el necesario para el desarrollo de la vida. *Vulnerabilidad ecológica* se refiere a las modificaciones que introduce el hombre sobre el medio perjudicando el equilibrio de los sistemas naturales. *Vulnerabilidad Física*, refiere a la localización de los asentamientos humanos en zonas de riesgo y deficiencias en sus estructuras físicas para absorber los efectos de esos riesgos. La *Vulnerabilidad Cultural*, refiere a estructuras de comportamiento social que tienen al verticalismo y la influencia de los medios masivos en la forma en la que los ciudadanos se relacionan entre ellos y perciben los riesgos con tendencias fatalistas. La *Vulnerabilidad técnica* refiere a la falta de tecnologías apropiadas para combatir el riesgo, generalmente asociadas a la falta de recursos económicos. La *Vulnerabilidad Política* constituye la capacidad que posee una comunidad para inferir en los niveles de decisión en temas relacionados con los problemas que la afectan. La *Vulnerabilidad Social* refiere a la trama

compleja de organizaciones, tanto formales como no formales que permite absorber más rápido las consecuencias de un desastre, en otras palabras, es el nivel de cohesión interna de una comunidad. La *Vulnerabilidad Institucional*, el autor la define como la rigidez de las instituciones estatales y la burocracia inherente para impedir una respuesta ágil y oportuna ante cambios repentinos del entorno físico. La *Vulnerabilidad Económica* explica cómo las comunidades económicamente más deprimidas son las más vulnerables frente a los riesgos naturales. El mismo autor incorpora también las vulnerabilidades *educativas* e *ideológicas*, considerando el alto nivel de complejidad de este concepto.

Para el marco conceptual del PIRNA, y el adoptado para este trabajo, las condiciones sociales y económicas del grupo social presente en el área de la cuenca, previa a la ocurrencia de un fenómeno peligroso, constituyen su vulnerabilidad social (Tabla 5.2). Esta configuración previa a la ocurrencia de un desastre determinará para quién el riesgo se transformará en catástrofe. La vulnerabilidad de la sociedad abarca las condiciones materiales de la vida de la población, los marcos normativos e institucionales que regulan su accionar, así como las carencias y limitaciones en la toma de decisiones (Natenzon, 2015). Para diagnosticar esta dimensión el PIRNA desarrolló índices que combinan indicadores seleccionados ad hoc de diversas fuentes, principalmente censales, que combinan aspectos demográficos, de calidad de vida y económico-laborales.

Estructura socioeconómica antecedente	
Eventos, procesos y relaciones incluidos	- Estructura social, económica y política de la sociedad afectada. - Relaciones interescalas: local, nacional, global.
Características de las estructuras antecedentes a los desastres	- Base productiva - Tenencia de la tierra - Capital, desarrollo financiero - Demografía de la población - Relaciones del trabajo y el consumo - Distribución de la renta - Tecnología (disponible, ofertada, utilizada) - Marco normativo e instituciones: leyes, normas, reglamentaciones; instituciones públicas, organigramas, misiones y funciones.

Tabla 5.2. Factores condicionantes de la estructura socioeconómica antecedente. Extraído de Natenzon (1995)

Metodológicamente para determinar la vulnerabilidad social de un área en estudio el PIRNA propone trabajar con 10 indicadores que cubren los aspectos sociales, habitacionales y económicos del grupo social analizado.

DIMENSIONES	*VARIABLES*	*INDICADORES*
Condiciones Sociales	Educación	1. Analfabetismo
	Salud	2. Mortalidad Infantil
	Demografía	3. Población 0 a 14 años 4. Población 65 y más años
Condiciones Habitacionales	Vivienda	5. Hacinamiento crítico
	Servicios básicos	6. Falta de acceso a red pública de agua potable 7. Falta de acceso a desagües cloacales
Condiciones Económicas	Trabajo	8. Desocupados
	Educación	9. Nivel Educativo de los Jefes de Hogar
	Familia	10. Hogares sin cónyugue

Tabla 5.3. Dimensiones, variables e indicadores del IVSD. Elaborado por Silvia G. González, en base a González, Calvo y Natezon (2016). Proyecto UBACYT – PDTS-PF01, 2013- 2015.

En este trabajo se considera que la condición de salud puede representarse por otro indicador: la disponibilidad de centros de atención sanitaria disponibles por radios censales. Ese indicador se diferencia del indicador propuesta en por el PIRNA en 2015 (Tabla 5.3) cuyo indicador es Mortalidad Infantil.

5.2.4. Incertidumbre

Representa aquellos aspectos que surgen del desconocimiento sobre las tres anteriores componentes del riesgo. Se trata de situaciones que no pueden ser resueltas a partir del conocimiento existente pero que requieren de una solución inmediata por aquello que está en juego (vidas humanas, bienes). La incertidumbre se refleja en dos dimensiones: a) la técnica, que refiere precisamente a esa falta de respuestas acabadas desde el saber científico respecto a los procesos asociados a la aparición y comportamiento de las amenazas y a los procesos que se

dan en la esfera social; b) la política, que hace referencia a esa necesidad de tomar decisiones aún cuando no se tienen certezas desde el conocimiento experto (González y Natenzon, 2002). La existencia de estas carencias hace que se vuelva central la incorporación a la toma de decisión de todos los actores sociales que se encuentren involucrados en la cuestión del riesgo, sobre todo los que están expuestos al riesgo, quienes no sólo son los que sufren sus consecuencias, sino que además son los que mayores aportes pueden hacer. El abordaje es del campo de la política, de la toma de las decisiones. Esta componente no se aborda en este trabajo.

En síntesis para analizar el Riesgo, la TSR desarrollada por Natenzon (1995, 2015), se posiciona en cuatro componentes fundamentales para el análisis de inundaciones de la cuenca de estudio: la componente estudiada por las ciencias naturales mediante el análisis de la *peligrosidad*; la componente estudiada por las ciencias sociales, mediante el análisis de la *vulnerabilidad*; el estudio del territorio, mediante el uso de cartografía y relevamiento en la componente de la *exposición*; y finalmente, reconociendo las limitaciones del conocimiento técnico de las tres componente anteriores, es decir, cuando el riesgo no se puede cuantificar hay incertidumbre, a nivel político se impone una resolución por la magnitud de los intereses en juego, la componente *incertidumbre* aborda las relaciones sociales, de poder y la toma de decisiones políticas en un contexto riesgo. Natenzon (2019) lo sintetiza en el siguiente gráfico:

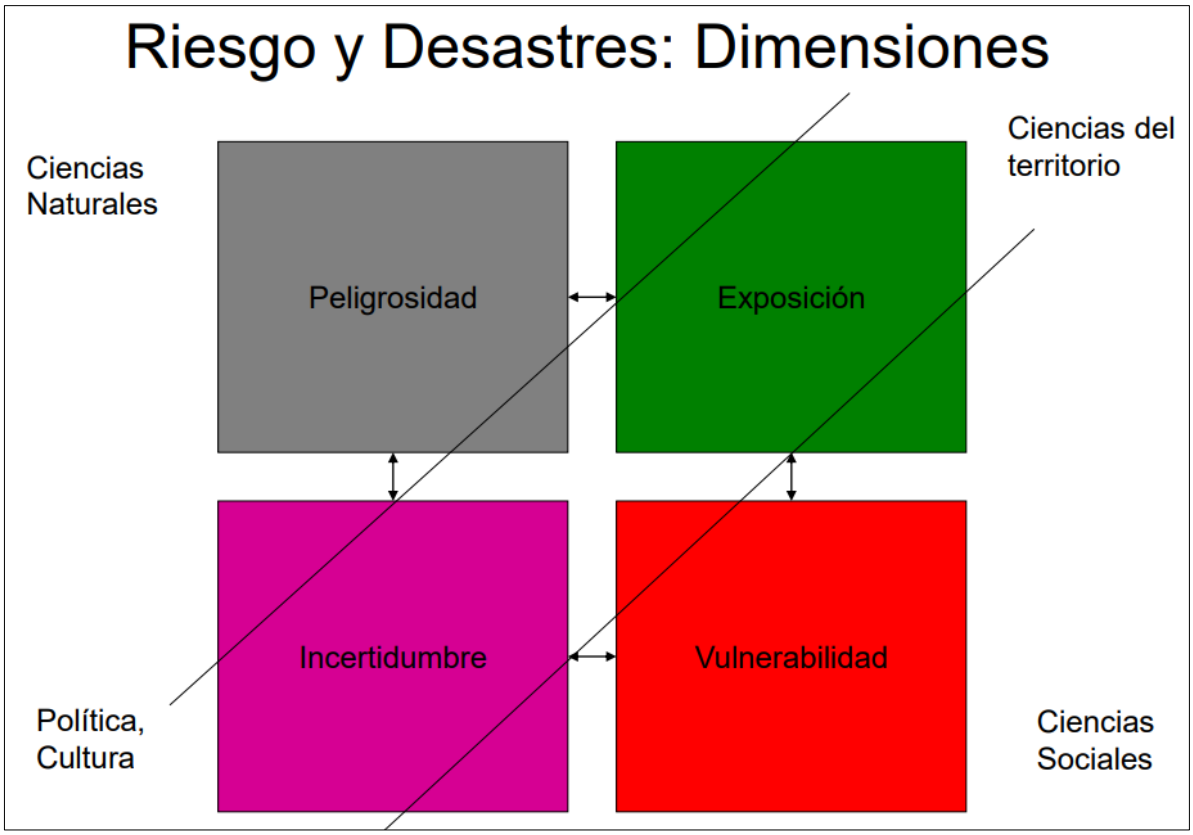


Gráfico 5.2. Riesgos y Catástrofes. Componentes. Tomado de Natenzon (2019)

En el marco del trabajo, abordaremos las primeras tres dimensiones: Peligrosidad, Exposición y Vulnerabilidad.

5.3. Marco Conceptual para el análisis de inundaciones en el Río Luján

El análisis del riesgo de inundaciones mediante la TSR propone demostrar mediante zonificación cartográfica la localización de las áreas con más riesgo a sufrir catástrofes.

En el marco de este trabajo final de maestría se aplicarán los alcances de sólo tres dimensiones conceptuales de análisis: Peligrosidad, Exposición y Vulnerabilidad. La incertidumbre no se trabajará.

El análisis de riesgo queda determinado para este trabajo como se ve en la Fórmula (5):

$$Riesgo\ de\ desastre\ =\ Amenaza\ +\ Vulnerabilidad\ +\ Exposición \qquad (5)$$

6. MATERIALES Y MÉTODOS

Para abordar el estudio del riesgo de inundaciones a lo largo de la cuenca del río Luján, se partió del análisis sobre las componentes de riesgo desarrolladas por Natenzon (1995, 2015): la Peligrosidad, Exposición y Vulnerabilidad. Para este análisis no se trabajó sobre la componente Incertidumbre. Las tres componentes restantes se analizaron utilizando las técnicas que ofrece la geomática.

En el cuadro siguiente se resumen las tres componentes analizadas y los métodos de abordaje:

Análisis	*Datos*	*Fuente*	*Resultado*
Peligrosidad	Áreas de peligrosidad de inundación de la cuenca del Luján	Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Buenos Aires.	Mapa validado de zonas potencialmente inundables en la cuenca del Río Luján.
Exposición	Imágenes satelitales de resolución media y alta.	Imágenes Satelitales Landsat y Base Google Earth Histórico: años 1999, 2010 y 2020.	Cartografía de asentamientos urbanos resultantes al 2020.
Vulnerabilidad Social	Indicadores demográficos, económicos, habitacionales de población de la cuenca.	Datos del último Censo de INDEC 2022 y datos abiertos de la Provincia de Buenos Aires.	Cálculo y cartografía de un Índice de Vulnerabilidad Social ante Desastres por radio censal para la cuenca del Río Luján.

Tabla 6.1. Dimensiones metodológicas para la determinación del Riesgo por inundaciones para la cuenca del Río Luján.

A continuación, se observa un gráfico con el flujo de trabajo propuesto para el abordaje de estas componentes con las técnicas que ofrece la geomática.

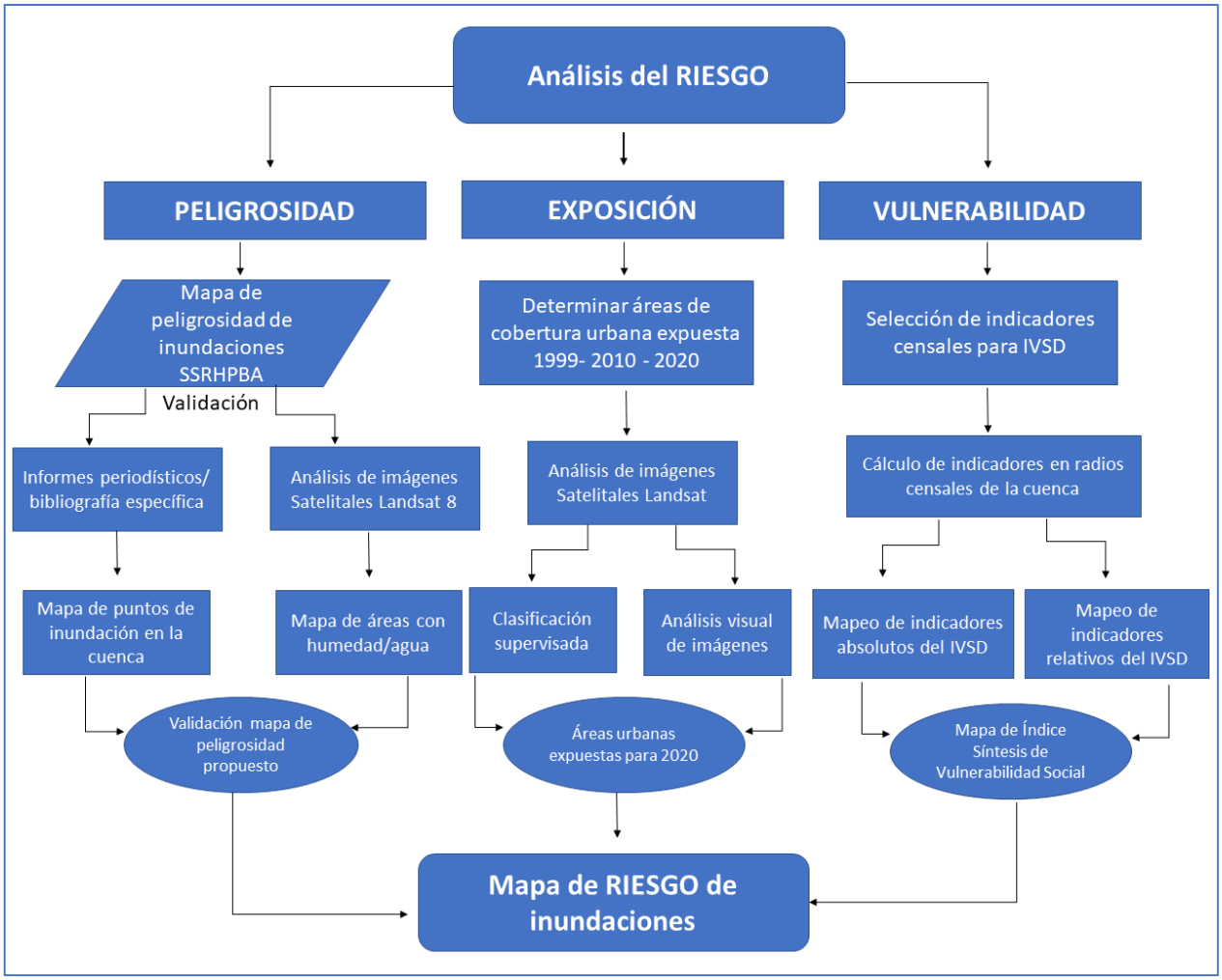


Gráfico 6.1. Flujo de trabajo para la obtención del mapa de Riesgo de inundaciones para la cuenca de estudio. Elaboración propia.

6.1. Metodología para el análisis de la Peligrosidad

Las áreas de peligrosidad se pueden determinar por diversos métodos. Varios trabajos han delimitado las zonas bajo amenaza de inundación en toda la cuenca de estudio aplicando simulaciones de precipitación sobre toda su superficie (INA, 2007; 2015), otros han delimitado áreas anegables mediante indicadores obtenidos desde sensoramiento remoto (Di Franco, 2018). Varios trabajos analizaron exclusivamente la amenaza de inundación sobre la cuenca media, como en el partido de Luján (Gatti, 2020; Príncipi, 2021) utilizando simulaciones de inundación en base a modelos digitales del terreno y mediante datos de precipitación en períodos excepcionales. El objetivo común de estos trabajos ha sido, en parte, la confección cartografía de amenaza o peligrosidad en áreas inundables en la cuenca del río Luján mediante las técnicas que ofrece la geomática.

El área de peligrosidad de inundación para la cuenca del río Luján en este trabajo se determinó mediante la zonificación definida por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Buenos Aires (SSRRHH-PBA, 2023) en su página web oficial. Este mapa muestra la probabilidad que tiene una zona de inundarse por desborde de un curso de agua, calculados a partir de modelaciones de situaciones de precipitaciones extremas, en este caso tomando en cuenta la inundación excepcional acontecida en agosto del año 2015 sobre la cuenca. Esta información se encuentra publicado como mapa web determinando cuatro niveles diferentes de peligrosidad para el río Luján y sus principales afluentes: áreas de peligrosidad baja (verde), media (amarillo), moderada (naranja) y alta (rojo).

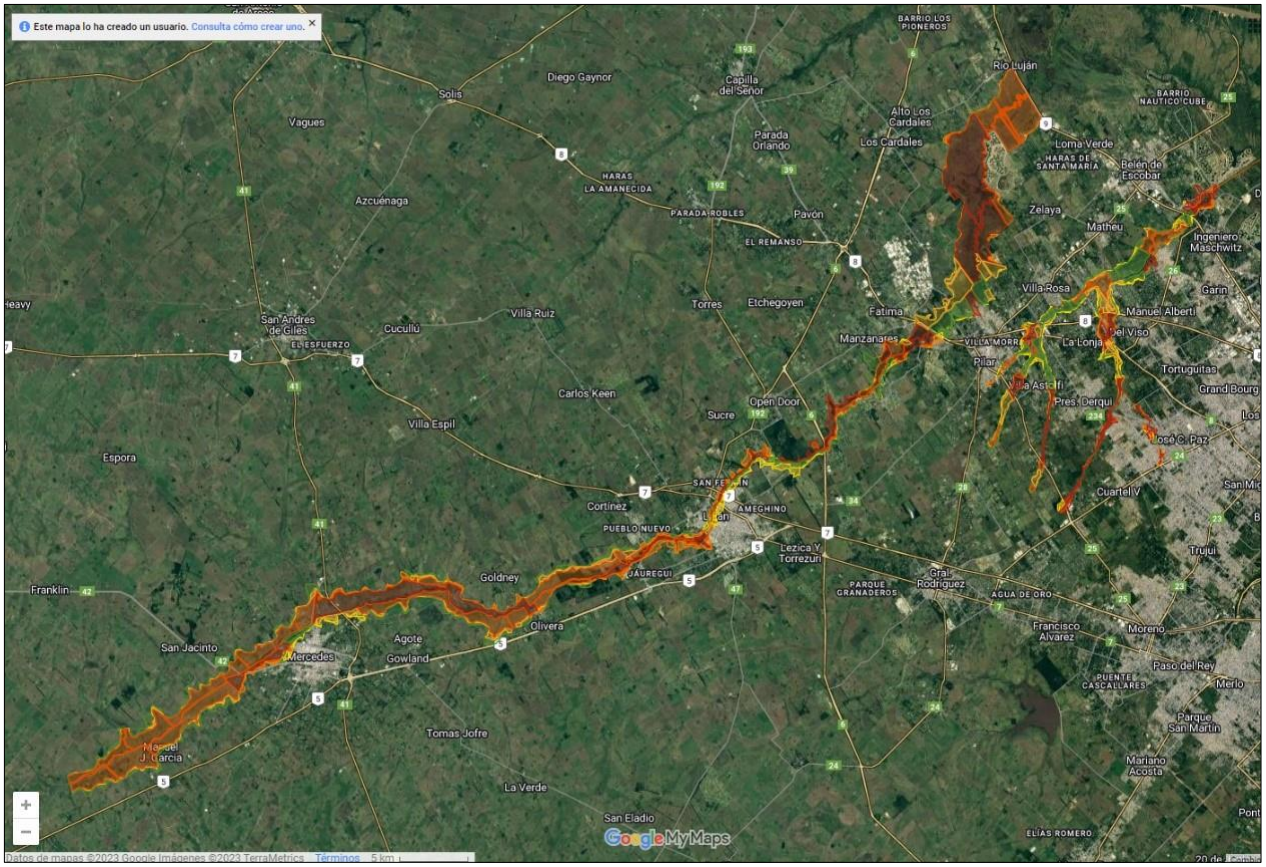


Figura 6.1. Mapa de peligrosidad de inundaciones de la cuenca del río Luján. Fuente: SSRRHH-PBA

Para este trabajo no se trabajó con algún nivel específico, sino que todas las áreas fueron señaladas con el mismo nivel de peligrosidad, debido a que se intenta abarcar todas las áreas susceptibles a ser inundadas, categorizando la superficie de la cuenca en dos clases: el área en zona inundable y no inundable, según el organismo oficial. Las áreas inundables quedan expuestas en la Figura 6.2.

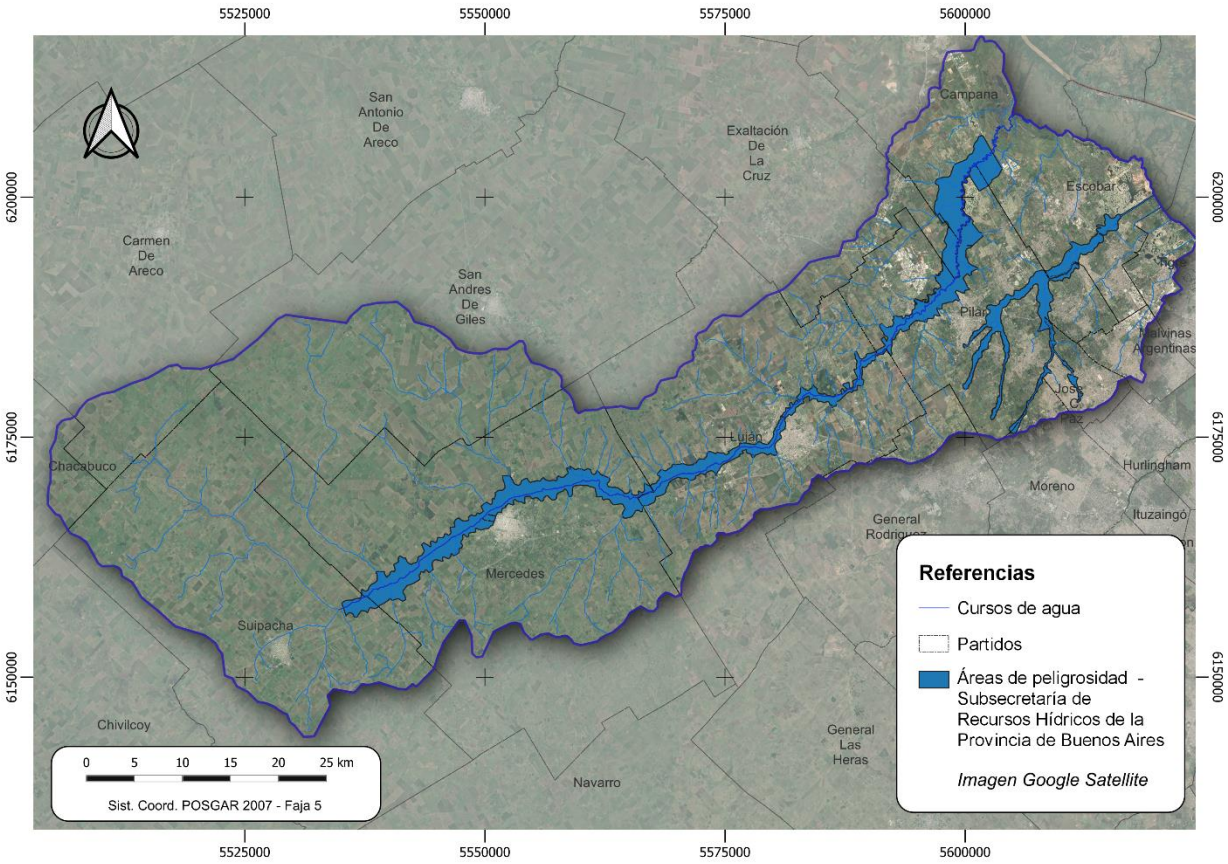


Figura 6.2. Áreas de peligrosidad de inundaciones de la cuenca del Río Luján de la SSRRHH-PBA. Elaboración propia.

Esta área de peligrosidad se validó a partir de dos fuentes:

- Relevamiento de áreas puntuales y zonales que experimentaron inundación entre los años 1999 - 2020, a partir de una revisión exhaustiva de fuentes periodísticas locales, provinciales y nacionales que informaron sobre los eventos e impactos acontecidos a lo largo de toda la cuenca.
- Determinación de áreas anegadas mediante análisis visual y espectral de imágenes satelitales entre los años 2013 - 2020, en fechas posteriores recientes a las inundaciones relevadas en el punto anterior a lo largo de toda la cuenca.

6.1.1. Validación del área de peligrosidad mediante relevamiento bibliográfico

Se recurrieron a fuentes secundarias de información para determinar barrios, calles, edificaciones de interés (monumentos, edificios públicos, etc.) que experimentaron eventos de inundación a lo largo del período 1999 - 2020.

Específicamente para el período 1999-2010 se utilizaron trabajos académicos (Principi, 2021; Miño, 2006) que identifican espacialmente locaciones puntuales y zonas inundadas, y para el período de 2010-2020 se consultaron exclusivamente informes periodísticos en línea. Se relevaron alrededor de 50 artículos web que mencionan eventos de inundación acontecidos sobre los partidos de Luján, Mercedes, Pilar, Escobar, Campana y Tigre.

La información relevada se sistematizó en hojas de cálculo donde se detalló fecha del evento, localidad, ubicación (hito geográfico) en que se informa inundación o anegamiento y fuente (Anexo 1). A partir de la ubicación de los puntos inundables, como edificios de interés, intersecciones de calle y cuadras a determinadas alturas informadas, se georreferenciaron en una capa vectorial. La capa resultante se superpuso a la base de datos espacial dentro de un proyecto montado sobre el software QGIS.

6.1.2. Validación del área de peligrosidad mediante información satelital

Las imágenes satelitales se constituyeron como fuentes de datos fundamentales por su naturaleza para los análisis requeridos a nivel de cuenca hidrográfica. En este apartado específicamente, para la validación del área de peligrosidad.

La elección de las imágenes de satélite necesarias para este análisis resultó crucial debido a las características que las mismas debieron responder, a saber:

- Disponibilidad temporal de imágenes de todo el período analizado: 1999 - 2020.
- Área geográfica de estudio que se extiende a más de 3.000 km^2.
- Área de estudio con alta heterogeneidad en el uso del suelo: uso urbano, suelo peri-urbano, natural, agrícolas en diferentes estadios fenológicos. Por lo cual fue importante que cubra un rango espectral que permite esta diferenciación.
- Disponibilidad de un conjunto espectral de bandas que permita acceder al cálculo de índices de humedad o agua a los fines de analizar superficies de inundación.

Una vez identificadas las imágenes satelitales el objetivo de la validación del área de inundación se lleva a cabo mediante dos técnicas:

- Análisis visual de imágenes: mediante la observación directa y a través de composiciones de bandas en color natural y falso color. Se identificaron áreas con alto contenido de humedad para determinar zonas inundadas.

- Análisis digital de imágenes: mediante la aplicación de un Índice de agua de Diferencia Normalizada Modificado (MNDWI) se identificaron suelos con alto contenido de agua/ humedad.

Las imágenes utilizadas para ambos análisis no corresponden a fechas exactas de las inundaciones. En primer lugar, porque las imágenes ópticas presentan alta nubosidad en fechas de picos de inundación y, en segundo lugar, debido a la revisita cada 16 días de las imágenes del satélite utilizado, es probable identificar escenas de fechas posteriores con suelos con alto contenido de humedad al momento de la captura de la escena. Esta es la razón por la que el análisis se focaliza en analizar la presencia de humedad en el suelo.

(1) Identificación de satélite y sensor idóneo

Las imágenes de la misión Landsat proveen todos los atributos descriptos más arriba, por lo que permitió identificar áreas de inundación y con cubiertas de humedad. Estas imágenes se comenzaron a registrar desde el año 1972 en forma casi continua hasta la actualidad. Poseen sensores pasivos que registran la misma escena cada 16 días en la mayor parte de su período histórico de toma, es decir, casi dos veces al mes en condiciones atmosféricas óptimas; su resolución espacial de es 900 m^2, lo cual lo permite trabajar con una escala del orden de 1: 100.000 (Di Franco, 2018), siendo un producto propio para este tipo de análisis regional a nivel cuenca. Si bien cada satélite enviado fue mejorando su alcance a nivel técnico, todos los sensores que lleva a bordo, observan la superficie terrestre en bandas del visible, del infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta y del infrarrojo térmico. La disponibilidad de un amplio rango espectral es útil para una correcta discriminación de diferentes cubiertas como presenta el área de estudio.

(2) Identificación de escenas Landsat a utilizar

La cuenca entera se encuentra cubierta por dos escenas de las imágenes Landsat, referentes a los Path Row 225084 (este), y la 226084 (oeste). La imagen 225084 ocupa más el 95 % de la superficie de la cuenca, y la imagen 226084 cubre sólo una pequeña parte de la cabecera de la misma (5%). Para cubrir la totalidad de la cuenca se debería recurrir a la realización de mosaicos que combinen ambas escenas, las que pueden ser de diferente fecha inclusive. Para evitar distorsiones en la compresión de resultados, se desestimó el uso de la escena 225086 para hacer los análisis y se usó solamente la 225085 en las diferentes fechas.

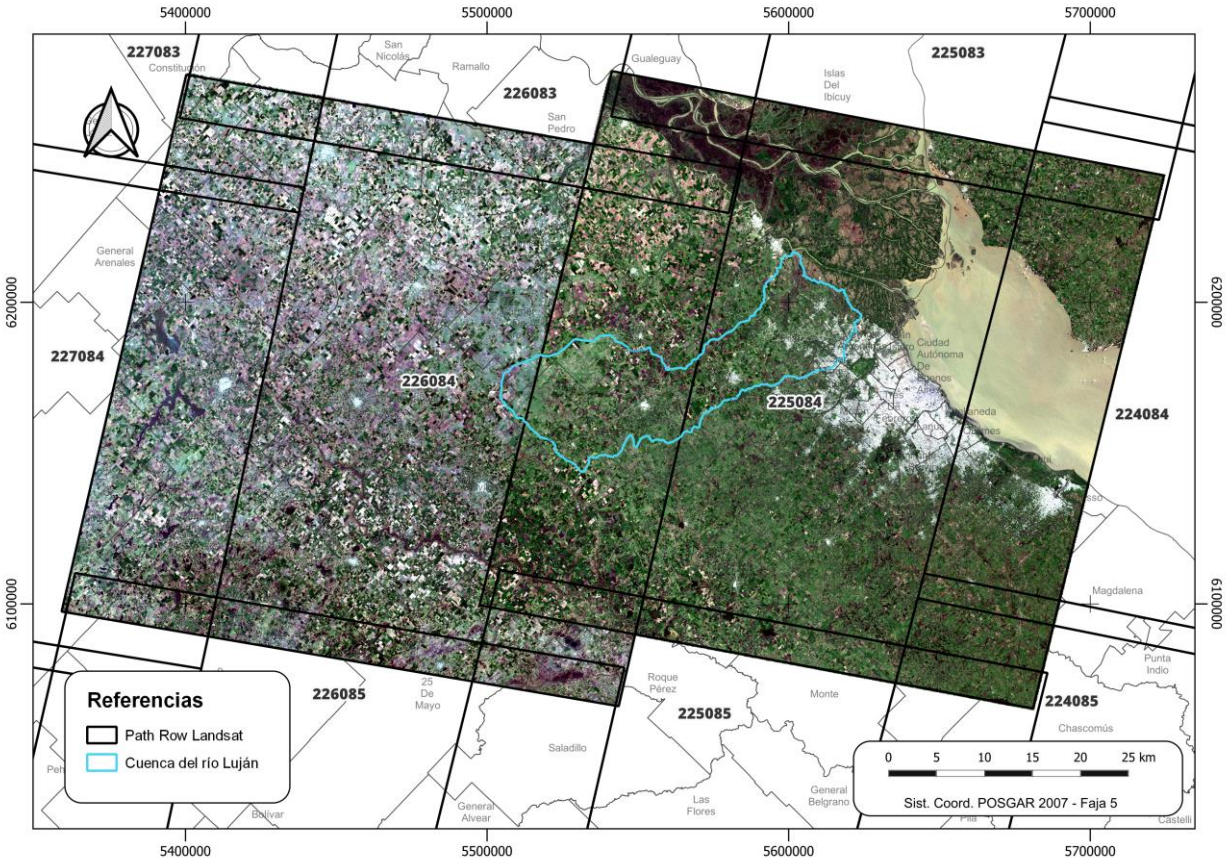


Figura 6.3. Imágenes satelitales Imágenes Landsat que cubren la cuenca del Río Luján, PathRow 225084 (imagen de la derecha), y la 226084 (imagen de la izquierda). Elaboración propia.

(3) Fechas de Imágenes utilizadas para la validación del área de peligrosidad

Se utilizaron 5 imágenes satelitales del Landsat 8 colección 2 Nivel 1, descargadas del portal de la NASA EarthExplorer, para identificar áreas de inundación tras el acontecimiento de tormentas severas en la región que dieron lugar a las mismas. La selección de esas cinco imágenes responde a su cercanía a fechas de inundación registradas, que no poseen nubes y que son todas son del mismo satélite y sensor, lo que las hace comparables.

El detalle de las fechas de las escenas y del evento de precipitación extremo asociado se observa en la tabla que se encuentra a continuación:

Fecha imagen	*Fecha precipitaciones extremas/ inundación*
27/09/2013	06/08/2013
23/04/2014	11/04/2014
16/08/2015	12/08/2015
20/05/2018	11/05/2018
21/06/2018	10/06/2018

Tabla 6.2. Fechas de las imágenes satelitales Landsat 8 utilizadas para el trabajo con relación a la fecha más cercana de inundación acontecida.

(4) Preprocesamiento de las imágenes

El tratamiento de las imágenes satelitales se realizó con el software de Sistemas de Información Geográfica, gratuito y de código abierto QGIS 3.28. Dentro del mismo se utilizaron diversos complementos: Semi Classification Plugin (SCP) para el procesamiento de las imágenes y Open Layer Plugin para la integración de imágenes de la base de Google con alta resolución espacial.

Las imágenes del Sensor OLI del Satélite Landsat 8 posee 11 bandas, se excluyeron en este trabajo las 2 bandas térmicas, además de la banda cirrus y la banda pancromática. Se trabajaron con las 7 bandas espectrales restantes, que fueron corregidas atmosféricamente en QGIS con el complemento SCP utilizando el método de Sustracción de Objeto Oscuro (DOS) (Chavez, 1988). El resultado es una imagen satelital cuyas bandas cuentan con los valores de reflectancia en superficie, en condiciones adecuadas para llevar a cabo diferentes procesamientos digitales para interpretación de comportamiento espectral de la cubierta.

Se recortaron las imágenes de satélite utilizando el límite de la cuenca del Río Luján con un buffer de 1500 metros usando el software QGIS, ese buffer de 1500 metros es a los fines de reconocer los elementos espaciales que rodean la cuenca.

(5) Análisis visual de imágenes

Para detectar visualmente las áreas anegadas se utilizó la composición de bandas 5-6-4, esta composición recurre a 1 banda del visible (banda 4) y 2 bandas infrarrojas (bandas 5 y 6), en estas últimas el agua posee alta absorción. En esta composición las áreas urbanas y los suelos expuestos aparecen en tonos de azul claro, mientras que las áreas inundadas y el agua aparecen en tonos azul oscuros (Fernández Copel y Llorente, 2001). A partir de esta composición se digitalizaron las áreas con exceso de agua en su superficie y exceso de humedad.

Esta combinación se aplicó a las 5 imágenes seleccionadas para este análisis, y se verificó que la mancha de inundación es altamente notable en la imagen con fecha del 16 agosto del 2015, escena de la semana posterior a la gran inundación acontecida entre el 7 y 12 de agosto. A partir de allí con criterios de análisis visual se procedió a la digitalización manual de superficies de suelo con alto contenido de humedad.

(6) Análisis digital de imágenes

Existen diversos índices para identificar espectralmente agua y humedad en el suelo, en este trabajo se analizaron los alcances de dos índices: Índice de Diferencia Normalizada de Agua, conocido como NDWI (McFeeters, 1996) y el Índice de Diferencia Normalizada de Agua Modificado, conocido como MNDWI (Xu, 2006). La fórmula del NDWI (6) relaciona la banda del verde del visible, donde el agua posee su máximo nivel de reflectancia respecto al canal IRC, donde los cuerpos de agua poseen alta absorción en comparación con otras superficies como el suelo y la vegetación.

$$NDWI = \frac{(Verde - IRC)}{(Verde + IRC)} \quad (6)$$

Fórmula de NDWI. McFeeters, 1996

Sin embargo, la eficacia de este índice presentó algunas limitaciones en detectar superficies de cuerpos de agua eutrofizados o con abundante material en suspensión (Di Franco, 2018; Bustamante, 2005), por lo cual es necesario tener un umbral apropiado para la cuenca en estudio en función de las características espectrales de los materiales, para generar menor incertidumbre en cuanto a la delimitación tierra-agua. La fórmula de índice MNDWI (7) propone mejores resultados en zonas con alto contraste espectral al utilizar las bandas del verde y del infrarrojo medio (SWIR), este último centrado en longitudes de onda de 1.7 µm y 2 µm (Ji et al, 2009; Di franco, 2018). Este índice está definidos de la siguiente manera:

$$MNDWI = \frac{(Verde - IRM)}{(Verde + IRM)} \quad (7)$$

Fórmula de MNDWI. Xu, 2006.

Entre estos dos índices se concluyó que el índice MNDWI presenta los mejores resultados para determinar áreas con mayor inundabilidad con la metodología y recursos empleados. Se calculó este índice en la misma imagen que fue utilizada para detectar visualmente la mayor presencia de humedad, correspondiente a la escena del 15 de agosto de 2015.

6.1.3. Validación final del área de peligrosidad

Las dos fuentes de validación produjeron cartografía del área de estudio con puntos y superficies que identifican la ubicación de las áreas inundadas, anegadas y con suelo húmedo. Los productos obtenidos se superpusieron al mapa de peligrosidad de la SSRRHH-PBA con el objetivo de validar si la totalidad o la mayor cantidad de puntos y áreas anegadas se corresponden efectivamente con las zonas de peligrosidad señaladas por el organismo provincial para toda la cuenca del río Luján.

De esta superposición se determinaron dos áreas de peligrosidad para toda la cuenca: *área con peligrosidad de inundaciones y área sin peligrosidad de inundaciones.*

La metodología propuesta para validar el área de peligrosidad se sintetiza en el siguiente cuadro.



Gráfico 6.1. Flujo de trabajo utilizado para la validación del área de peligrosidad.

6.2. Metodología del Análisis de la Exposición

El análisis de la Exposición persigue dos objetivos: por un lado, determinar el crecimiento urbano que se expone a inundaciones a lo largo del período de análisis (1999-2020) y por otro, establecer el estado más reciente de la distribución de la población en la cuenca del río Luján, es decir en el año 2020, para determinar posteriormente el Riesgo.

Para determinar la superficie de suelo destinada a asentamiento humano se realizó un procedimiento de análisis mixto: se aplicó primero un análisis digital de imágenes mediante la clasificación supervisada y en base a este producto se procedió a la digitalización de áreas urbanas mediante análisis visual. En una primera etapa se realizaron clasificaciones supervisadas para tres fechas (1999, 2010 y 2020), seguida por la determinación de áreas urbanas mediante análisis visual y digitalización manual.

La determinación de cambios multitemporales a través de imágenes de satélite, tal como se propone en este trabajo, fue aplicada por varios autores. Humacata, *et al.* (2019), lo aplica para la cuenca del río Luján, García Rodríguez y Pérez González (2014), analizaron la expansión urbana en el Corredor de Henares con imágenes Spot y Landsat 5 TM y 7 ETM+. Por su parte, Picone y Linares, (2014), extraen una metodología de análisis de las densidades urbanas mediante clasificaciones con imágenes Landsat 5 TM en la ciudad de Tandil.

En este trabajo se seleccionaron imágenes satelitales Landsat para tres fechas a lo largo del período de análisis, todas de la misma temporada y con ausencia de nubes.

Año	*Satélite / Sensor*	*Path Row*	*Fecha*	*Nivel de Procesamiento*	*Fuente*
1999	Landsat 7	225084	29/09/1999	Collection2_Level-1	Earth Explorer
2010	Landsat 5	225084	08/12/2010	Collection2_Level-1	Earth Explorer
2020	Landsat 8	225084	03/12/2020	Collection2_Level-1	Earth Explorer

Tabla 6.3. Detalle de satelitales utilizados y fechas de las escenas utilizadas para el análisis de la Exposición.

6.2.1. Metodología de clasificación digital de imágenes

El objetivo es identificar mediante la clasificación de imágenes las superficies que reflejen edificaciones, es decir, áreas urbanizadas.

La clasificación digital de imágenes satelitales comprende el proceso de identificar en una imagen satelital cubiertas determinadas por métodos de reconocimiento de patrones, esto se hace a partir de la agrupación de los niveles digitales espectralmente similares (Chuvieco, 1996; 2010). Existen dos métodos de clasificación: supervisado y no supervisado. En este trabajo se utilizó la primera.

La clasificación supervisada requiere de cierto conocimiento previo del terreno y de los tipos de coberturas a través de una combinación de trabajo de campo, análisis de imágenes de alta resolución, mapas topográficos e informes técnicos. Con base a este conocimiento se definen y se delimitan sobre la imagen las áreas de entrenamiento en función de la heterogeneidad espacial.

Todo el proceso de clasificación fue realizado en el entorno del programa QGIS con el Plugin SCP versión 8.3.0.

(1) La fase de entrenamiento

La cuenca del río Luján es un área reconocida mediante visitas a campo, fotos e imágenes de alta resolución espacial consultadas en Google Earth Pro.

En este punto interesa introducir una reflexión sobre el tipo de categorías que pueden intervenir en una clasificación temática. Existen dos tipos de clases: informacionales y espectrales. Las primeras son las que constituyen la leyenda de trabajo que pretende deducir el intérprete (áreas de entrenamiento). Las segundas, corresponden a los grupos de valores espectrales homogéneos dentro de la imagen, en función de ofrecer una reflectividad similar, para las bandas seleccionadas, y en la fecha en consideración. Idealmente para cada clase informacional habría una clase espectral, sin embargo, como se observará en este trabajo, eso no suele suceder. Una cubierta informacional puede estar cubierta por varias clases espectrales, o varias cubiertas informacionales pueden compartir una clase espectral (Chuvieco, 2010).

Para la clasificación supervisada se determinaron un conjunto de clases: áreas con urbanización, con vegetación densa, vegetación baja, suelo desnudo y áreas cubiertas con agua o alto contenido de humedad.

En la Tabla 6.4 se identifican los nombres de las clases seleccionadas y la definición de cada una. Esta definición será fundamental debido a que a partir de ellas se definirán las áreas de interés.

Clase	*Nombre*	*Definición*
1	Urbanización	Presencia de constructos continua
2	Vegetación densa	Vegetación continua y dominante. Agrícolas en su mayor productividad, o natural denso.
3	Vegetación baja	Vegetación continúa con vegetación baja. Vegetación agrícola en sus primeros estadíos o pastizal.
4	Suelo desnudo	Suelos sin presencia de vegetación. Agrícola en barbecho o suelos arenosos.
5	Agua	Cuerpos de agua, ríos.

Tabla 6.4. Detalle de clases seleccionadas para la clasificación de las imágenes de las tres fechas de análisis de la Exposición.

Se analizaron las firmas espectrales con la finalidad de observar distancia espectral entre las áreas de entrenamiento generadas:

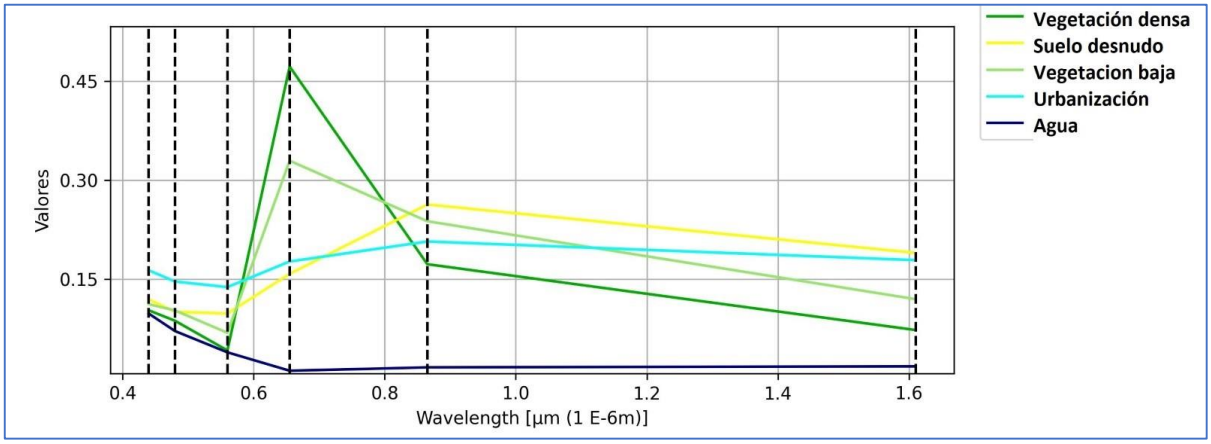


Gráfico 6.2. Firmas espectrales obtenidas a partir de las áreas de entrenamiento seleccionadas para la imagen 2010. Elaboración propia a partir del uso el software QGIS.

(2) Fase de asignación

Existen varios criterios de clasificación que dependen de funciones matemáticas que definen un área de dominio de cada clase. Se consigue así fronteras estadísticas entre las clases que varían dependiendo del criterio utilizado. Los algoritmos más utilizados son: 1) *mínima distancia,* por el cual el píxel se asigna a la clase más cercana espectralmente; 2) *paralelepípedos*, que permite señalar umbrales de dispersión respecto a cada clase; 3) *máxima probabilidad*, en donde el píxel se asigna a la clase con mayor probabilidad de pertenencia (Chuvieco, 2010); 4) *mapeo de ángulo*

espectral, se utiliza para encontrar aquellos pixeles de la imagen que se asemejen a un espectro de referencia (endmember) (De Carvalho y Meneses, 2000; Petropoulos, 2010).

En este trabajo se utilizó el Mapeo de Ángulo espectral, mediante el plugin SCP, tras realizar pruebas de clasificación con otros algoritmos y comparar los resultados con imágenes de alta resolución para su rápida validación. Este algoritmo compara el ángulo espectral entre el espectro de referencia y cada pixel vector en el espacio n-dimensional, en este caso de todas las bandas espectrales de los sensores ópticos a bordo de Lansat 5, 7 y 8. Cuando los ángulos entre el espectro de referencia y el dato de la imagen son pequeños significa que existe mayor probabilidad que se trate del mismo material.

(3) Fase de validación

Para validar cada clasificación se aplicó una Matriz de Confusión, que se constituyen en una tabla de contingencia en la que las filas recogen las categorías obtenidas en el proceso de clasificación y las columnas la verdad-terreno, es decir, las categorías verificadas, con el objetivo de determinar la fiabilidad de cada clasificación. La diagonal principal de la matriz representa el número de celdas correctamente clasificadas para cada categoría de la leyenda y los elementos fuera de la diagonal principal indican errores de asignación (Chuvieco, 2010; Pinilla, 2020).

Para esta matriz de confusión, fue necesario seleccionar un conjunto de muestras para la validación. El tamaño de la muestra fue de 50 puntos por categoría de interés (Hay, 1979; Conglaton, 1991, 2001;). Se seleccionaron las muestras tomando como referencia imágenes de alta resolución espacial obtenidas desde Google Earth Histórico.

A partir de las matrices de confusión resultantes se obtuvieron los siguientes estadísticos que permitieron validar los resultados:

- Fiabilidad global del mapa: es la medida más simple debido a que relaciona los elementos de la diagonal con los puntos muestreados. Por lo que:

$$Fiabilidad\ Global = \frac{Suma\ de\ píxeles\ de\ la\ diagonal}{Total\ de\ píxeles\ muestreados} \quad (8)$$

- Índice Kappa: es un índice muy empleado en la evaluación de la calidad de la clasificación. Este estadístico cuantifica el nivel de acierto atribuible al método de clasificación seleccionado frente al que se hubiese conseguido meramente por azar. Para calcularlo se aplica la siguiente fórmula (Pinilla, 2010):

$$K = \frac{P_a - P_e}{1 - P_e} \quad (9)$$

Donde:

- P_a es la concordancia observada (porcentaje de acuerdo) y,
- P_e es la sumatoria de concordancia esperada por azar.

El resultado de K, asignará una concordancia que se adecuará al siguiente cuadro.

Valor de k	***Concordancia***
0, 00	Pobre
0,01 – 0,20	Leve
0,21 – 0,40	Aceptable
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Considerable
0,81 – 1,00	Casi Perfecta

Tabla 6.5. Significado de los valores Kappa. Extraído de Pinila, 2010.

6.2.2. Clasificación mediante análisis visual de imágenes

Para enriquecer el análisis se utilizaron técnicas de detección visual de imágenes, a fin de determinar las áreas urbanas presentes en las imágenes de satélites. Esta técnica mejora y corrige las áreas urbanas detectadas mediante la clasificación supervisada de imágenes.

Se partió de las clasificaciones resultantes en el apartado anterior. Se vectorizaron sólo las áreas clasificadas como urbanas para las tres fechas. Los polígonos resultantes se editaron en la observación directa sobre las mismas imágenes aplicando una combinación que resalte la urbanización: Landsat 5 de 1999, en combinación RGB 742 (Fernández Coppel y Llorente, 2001). Landsat 7 de 2010, en combinación RGB 742 y Landsat 8 de 2020, en combinación RGB 753. También se utilizaron las imágenes históricas de Google, aunque se debe aclarar que en esta plataforma sólo se encuentran imágenes de alta resolución desde 2005, en la zona de estudio, por lo que para 1999 no se utilizó.

El análisis visual de imágenes posee determinados criterios que permiten discriminar categorías con un comportamiento espectral parejo, aunque posean un significado temático distinto (Chuvieco, 2010). Los criterios son:

- Tono y Brillo:
- Color
- Textura
- Forma
- Asociación

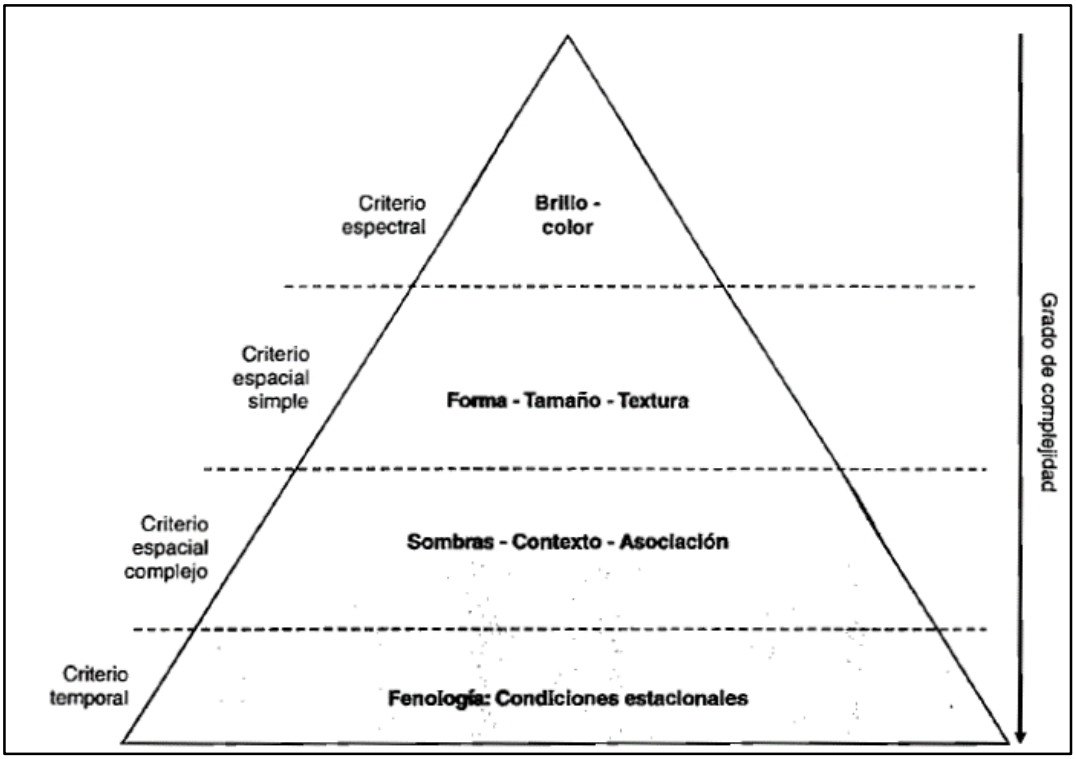


Gráfico 6.3. Organización jerárquica de los criterios de interpretación visual. Fuente: Chuvieco, 2010. Teledetección Ambiental (Adaptado de European Comisión, 1993).

Con estos criterios se observaron las imágenes satelitales de los años analizados y se terminaron de delimitar las envolventes urbanas.

6.2.3. Determinación de áreas de Exposición

Con las cubiertas clasificadas digital y visualmente se determinaron las zonas urbanas presentes en la cuenca en los años 1999, 2010 y 2020. Se obtuvieron los mapas binarios (urbano y no

urbano) que presentan áreas urbanas en los diferentes años, y finalmente la del año 2020 para la cuenca del río Luján.

Con el resultado de las clasificaciones para cada año se realiza un cálculo del porcentaje de crecimiento en superficie en cada decenio.

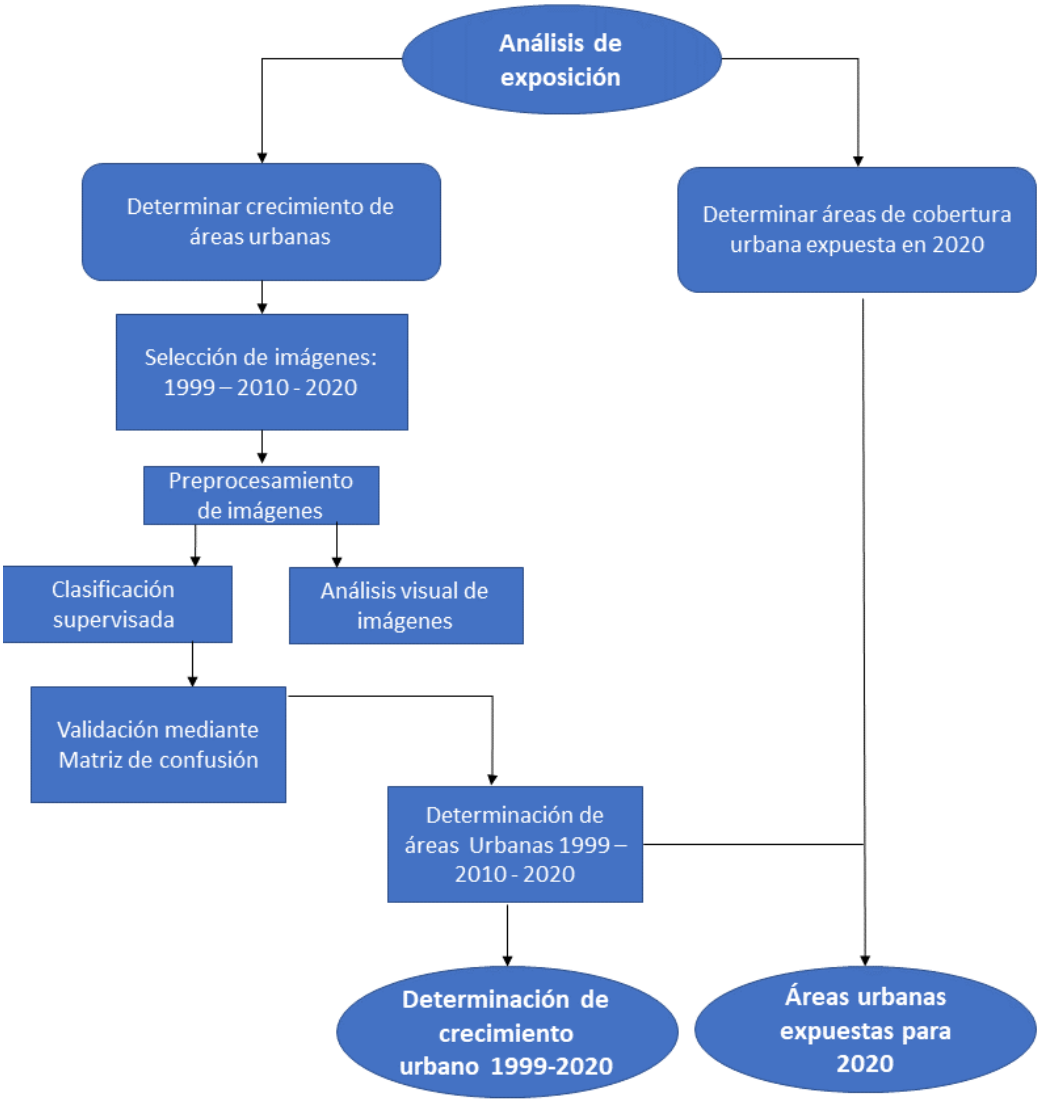


Gráfico 6.4. Flujo de trabajo utilizado para determinar la peligrosidad.

6.3. Análisis de la Vulnerabilidad Social en toda la cuenca del río Luján

Para conocer las condiciones de Vulnerabilidad social y su distribución espacial se utilizó el Índice de Vulnerabilidad Social ante Desastres (IVSD) (Natenzon, 1995; 2015). Este índice está compuesto de 10 indicadores sociales, 9 obtenidos del Censo de Nacional de Población y

Vivienda del año 2022, mediante el Portal REDATAM y uno de salud obtenido a partir de datos de centro de salud operativos del Gobierno de la Provincia de Buenos Aires.

6.3.1. Indicadores utilizados para calcular el IVSD

La configuración social de los habitantes de la cuenca del Río Luján se analizó mediante 3 dimensiones: sociales, habitacionales y económicas. De estas 3 dimensiones se desprenden 7 variables de análisis: educación, demografía, vivienda, servicios básicos, trabajo, educación y conformación familiar. Estas 7 variables a su vez se expresan en 9 indicadores directos del censo, y 1 indicador de salud calculado a partir de fuentes externas al censo, donde se tomaron todos los centros de salud existentes cercanos al centro geográfico de cada radio censal. Estos se describen en la Tabla 6.5.

DIMENSIONES	*VARIABLES*	*INDICADORES*	*Definición*
Condiciones Sociales	Educación	1. Analfabetismo	Número de persona analfabetas de 10 años en adelante
	Demografía	2. Población de 0-14 años	Número de personas entre 0 y 14 años
		3. Población de 65 años y más	Número de personas de 65 años o más
	Salud	4. Salud	Distancia optima a centro de salud, como máximo a 2,5 km
Condiciones Habitacionales	Vivienda	5. Hacinamiento crítico	Tres o más personas en habitación de la misma vivienda
	Servicios básicos	6. Falta de acceso a red de agua potable	Número de hogares sin acceso a red de agua potable
		7. Falta de acceso a desagües cloacales	Número de hogares sin acceso a red de agua potable
Condiciones Económicas	Trabajo	8. Desocupados	Número de personas entre 14 y 65 en condición de desocupación
	Educación	9. Educación incompleta de jefes de hogar	Número de personas sin secundario completo
	Familia	10. Hogares sin cónyuge.	Número de hogares con un sólo conyugue a cargo

Tabla 6.5. Dimensiones, variables e Indicadores utilizados para el IVSD. Elaboración propia en base a González, Calvo y Natezon. Proyecto UBACYT – PDTS-PF01, 2013- 2015.

Con estos 10 indicadores se conformó el IVSD. Para llegar al mismo previamente se necesitó procesar estos indicadores en forma individual, en valores absolutos y relativos. De este procesamiento inicial se obtuvieron: un IVSD para valores absolutos y un IVSD para valores relativos. Finalmente, de la conjunción del comportamiento de índices absolutos y relativos se obtuvo el Índice Síntesis Final de Vulnerabilidad Social.

6.3.2. Cálculo de indicadores absolutos y relativos por radio censal

La unidad mínima de análisis para esta componente del riesgo fue el radio censal. Se seleccionaron todos los radios censales que se encontraron dentro de la cuenca del Río Luján. Se contabilizaron un total de 1713 radios censales sobre ella.

Para cada uno de los 9 indicadores del INDEC se procesaron los valores absolutos y relativos para cada radio censal.

Para calcular los valores absolutos de cada indicador se contabiliza el total de hogares, o personas que poseen tal condición. Para ello se parte de conocer:

- total de Población por Radio Censal
- total de Hogares por Radio Censal.

Por ejemplo, para el indicador “Falta de acceso a desagües cloacales” se tomó el valor arrojado en REDATAM que es cantidad de hogares con desagüe cloacal, y mediante un cálculo directo, se restó este valor a Cantidad total de hogares, obteniendo el valor absoluto de *Cantidad de hogares sin desagüe cloacal*.

Para los valores relativos se calculó el cociente del valor arrojado en forma absoluta sobre la totalidad de hogares (o personas, si el indicador correspondiese) en ese radio censal. Por ejemplo, en este caso se dividió total de hogares sin desagüe cloacal sobre totalidad de hogares del radio censal, obteniendo así el valor relativo del indicador para ese radio censal.

Para el cálculo del indicador de salud, se tomó el Acceso a establecimientos de salud cercanos. Se utilizaron datos geolocalizados en shapefile extraídos de los Datos Abiertos del Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires (2022). Mediante un algoritmo de QGIS se calculó el centroide de cada radio censal y se superpuso la capa de establecimientos de salud para todos los partidos que cubren la cuenca del río Luján, se contabilizó la cantidad de establecimientos a una distancia euclidiana de 2,5 kilómetros mediante un buffer. Esa distancia se relaciona con el tiempo que una persona tardaría en dirigirse a pie en una situación de emergencia al centro de

salud más cercano, con un recorrido máximo de media hora (Gatti, 2020). Este indicador sólo se trabajó en términos absolutos.

A continuación, se detalla la unidad de análisis utilizada para cada indicador

INDICADORES	***Unidad de análisis***
Analfabetismo	Personas (Se cuentan personas analfabetas sobre el total de personas en el radio censal)
Población de 0-14 años	Personas (Se cuenta personas entre 0-14 años sobre el total de personas en el radio censal)
Población de 65 años y más	Personas (Se cuenta personas de 65 años y más sobre el total de personas en el radio censal)
Salud	Cantidad de centros de salud (Se cuenta a partir de la distancia del centro del radio censal hacia el centro de salud más cercano tomando como radio máximo 2,5 km)
Hacinamiento crítico	Hogares (Se cuentan hogares con más de 3 personas por cuarto sobre el total de hogares reportados en el radio censal)
Falta de acceso a red pública de agua potable	Hogares (Se cuentan hogares sin red pública de agua sobre el total de hogares reportados en el radio censal)
Falta de acceso a desagües cloacales	Hogares (Se cuentan hogares sin desagüe cloacal sobre el total de hogares reportados en el radio censal)
Desocupados	Personas (Se cuentan personas entre 14 y 65 años en condición de desocupación sobre el total de personas en el radio censal)
Educación incompleta de jefes de hogar	Hogares (Se cuentan hogares cuyo jefe posee secundario incompleto sobre el total de hogares en el radio censal)
Hogares sin cónyuge.	Hogares (Se cuentan hogares monoparentales sobre el total de hogares en el radio censal)

Tabla 6.6. Unidad de análisis utilizados para los indicadores del IVSD.

6.3.3. Cálculo del IVSD para valores absolutos

El valor calculado para cada indicador en valores absolutos se los categorizó en 5 partes, utilizando el método de quintiles usado por el PIRNA en el software QGIS (Natenzon en Dirección Nacional de Emergencia - SINAE, 2022; Ruiz Rivera, 2025), según el cual, el 20% de los radios identificados dentro del primer quintil, es decir, los radios con muy baja vulnerabilidad para ese indicador, se representan como categoría 1, el último grupo serán los radios con muy alta vulnerabilidad para ese indicador, asignándolo dentro de la categoría 5. A los radios censales con

categoría 1 (Muy Bajo) se les asignó el valor 1, al grupo de radios censales con categoría 2 (Bajo) se les asignó el valor 2, hasta llegar a los radios de la categoría 5 (Muy Alto), que se les asignó el valor numérico 5. De esta manera el IVSD para valores absolutos para cada radio será la sumatoria de los valores asignados para cada uno de los 10 indicadores. De esta manera, el radio con la vulnerabilidad social más baja tendrá valor 10 (en el caso extremo que se asuma que todos los indicadores poseen el valor de la categoría más baja) y la vulnerabilidad más alta posible tendrá el valor 50 (asumiendo que los 10 indicadores posean valor 5 debido a que responden a la categoría más alta).

Los radios con la sumatoria de los valores resultantes también se vuelven a clasificar mediante quintiles, obteniendo 5 categorías crecientes de carencia o vulnerabilidad para cada radio censal:

- Categoría 1 = Vulnerabilidad Muy Baja
- Categoría 2 = Vulnerabilidad Baja
- Categoría 3 = Vulnerabilidad Media
- Categoría 4 = Vulnerabilidad Alta
- Categoría 5 = Vulnerabilidad Muy Alta

6.3.4. Cálculo de IVSD para valores relativos

Los valores de estos indicadores se categorizan nuevamente en 5 clases utilizando el método de cortes naturales propuesto por el PIRNA en el software R y QGIS (Natenzon en Dirección Nacional de Emergencia - SINAE, 2022; Ruiz Rivera, 2025). A cada clase arrojada se le asignó una categoría desde 1, correspondiente a radios con muy baja vulnerabilidad relativa para ese indicador, hasta llegar a la categoría 5, que son radios corresponden a muy alta vulnerabilidad. Cabe aclarar que el cálculo de los valores relativos se hace sólo sobre los 9 indicadores de INDEC, no se realiza sobre el indicador de Salud que sólo posee valores de cantidad absoluta de establecimientos sanitarios. El IVSD para valores relativos se consolidó como la sumatoria de los valores asignados en función de la categoría a la que pertenece cada radio censal en cada indicador. El resultado contempla radios con la vulnerabilidad social más baja, que tendrán valores desde 9 (en el caso extremo que se asuma que todos los indicadores poseen el valor de la categoría más baja) y la vulnerabilidad más alta posible tendrá el valor 45 (asumiendo que los 9 indicadores posean valor 5 debido a que responden a la categoría más alta).

El cálculo del IVSD para valores relativos se realizó mediante la sumatoria de pesos para cada indicador calculado, nuevamente, a partir de una clasificación basada en cortes naturales, obteniendo las siguientes categorías:

- Categoría 1 = Vulnerabilidad Muy Baja
- Categoría 2 = Vulnerabilidad Baja
- Categoría 3 = Vulnerabilidad Media
- Categoría 4 = Vulnerabilidad Alta
- Categoría 5 = Vulnerabilidad Muy Alta

En síntesis, se obtuvo un IVSD relativo con 5 categorías con valores de pesos correspondientes a niveles crecientes de carencia o vulnerabilidad.

6.3.5. IVSD Síntesis

El IVSD Síntesis se calculó a partir de IVSD para valores absoluto y el IVSD para valores relativos. Esta combinación se realiza debido a que, si un radio censal que se encuentre en la categoría 4 para un indicador en valor relativo y 2 para un valor absoluto significa que una gran proporción de la población de ese radio posee alta vulnerabilidad, pero en términos absolutos ese radio pertenece al segundo quintil de radios con baja vulnerabilidad por la cantidad real de población que involucra. Por lo que en este caso se procedería a la suma del valor del indicador absoluto y relativo dando como resultado el indicador final.

En la siguiente tabla se observa la combinación del IVSD absoluto y el IVSD relativo:

		IVSD Valores absolutos				
IVSD Valores relativos		MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
	MB	1+1=2	1+2=3	1+3=4	4+1=5	5+1=6
	B	1+2=3	2+2=4	3+2=5	4+2=6	5+2=7
	M	1+3=4	2+3=5	3+3=6	4+3=7	5+3=8
	A	1+4=5	2+4=6	3+4=7	4+4=8	5+4=9
	MA	1+5=6	2+5=7	3+5=8	4+5=9	5+5=10

	VS muy baja
	VS baja
	VS media
	VS alta
	VS muy alta

Tabla 6.7. Combinación Síntesis de valores de vulnerabilidad social absolutos y relativos. Fuente: Adaptado de Herrero, Natenzon y Miño (2018).

En este IVSD Síntesis las categorías también son cinco, desde los valores más altos cuando se combinan las categorías más altas de los dos IVSD (absoluto y relativo), presentando así el peor escenario de vulnerabilidad social; los valores medios presentan combinación de los 5 cortes tanto relativos como absolutos; los valores bajos combinan solamente valores bajos entre los dos índices, presentando escenarios de radios con vulnerabilidad baja.

6.4. Análisis del riesgo

El análisis del riesgo surge de la combinación de la peligrosidad, vulnerabilidad y exposición, es decir, de los mapas resultantes de las tres dimensiones previas:

- Mapas de Amenaza
- Mapa de Vulnerabilidad Síntesis
- Mapa de Exposición

Por lo que para este análisis Riesgo es función de cada una de esas tres variables según la Formula (9).

$$R = f(Amenaza, Vulnerabilidad, Exposición) \quad (9)$$

Siguiendo el análisis propuesto, el Riesgo se traduce en la siguiente Fórmula (10):

$$Riesgo = Peligrosidad\ \ de\ inundación + IVSD + \ Exposición \quad (10)$$

Fórmula tomada de Gatti (2020)

Para ello los tres mapas resultantes se estandarizaron con la finalidad de generar un mapa temático de superposición que muestre las zonas con mayor y menor riesgo a sufrir un desastre a causa de las inundaciones.

Primero, se convirtieron los tres productos vectoriales a formato raster, siendo variables de entrada para la generación de un índice de riesgo. La unidad de análisis fue de 30 metros, debido a que es la unidad mínima de información en la que se capturó la urbanización. Se permitió así un análisis más preciso del comportamiento del riesgo en todo el partido.

Segundo, cada capa se estandarizó con un valor de entrada:

- Mapa de Peligrosidad se estandariza de la siguiente manera:
  - *valor de 0,25 a la superficie con amenaza de inundación*
  - *valor 0 a la superficie sin amenaza*
- Mapa de IVSD se estandariza con las siguientes categorías (adaptado de Gatti, 2020):
  - *Muy bajo: valor 0,1*
  - *Bajo: valor 0,2*
  - *Medio: valor 0,3*
  - *Alto: valor 0,4*
  - *Muy Alto: valor 0,5*
- Mapa de Exposición se estandariza de la siguiente forma:
  - *valor de 0,25 a la superficie con asentamientos humanos*
  - *valor de 0 a la superficie sin asentamientos urbanos.*

El mapa de Riesgo resultante es un mapa con la sumatoria de los 3 índices estandarizados. Los valores resultantes a lo largo de todo el mapa serán valores entre 0,1 y 1. De esta forma:

- *el valor más bajo de riesgo será 0,1 (zonificaciones con valores muy bajos de riesgos a inundaciones)*
- *el valor más alto será 1 (zonificaciones con valores más altos con riesgos a inundaciones).*

El mapa de riesgo resultante presenta los barrios con mayor índice de riesgo a sufrir las inundaciones para todos los partidos de la cuenca.

A este resultado se superpusieron los barrios RENABAP declarados para el 2020. Los barrios RENABAP, responden al Registro Nacional de Barrios Populares relevador por el gobierno del Estado Nacional. Estos barrios se definen "*como aquellos barrios comúnmente denominados villas, asentamientos y urbanizaciones informales que se constituyeron mediante distintas estrategias de ocupación del suelo, que presentan diferentes grados de precariedad y hacinamiento, un déficit en el acceso formal a los servicios básicos y una situación dominial irregular en la tenencia del suelo, con un mínimo de OCHO (8) familias agrupadas o contiguas, en donde más de la mitad de sus habitantes no cuenta con título de propiedad del suelo, ni acceso regular a al menos DOS (2) de los servicios básicos (red de agua corriente, red de agua corriente, red de energía eléctrica con medidor domiciliario y/o red cloacal)* (Decreto 358/2017)".

Estos barrios se superpusieron a los barrios de mayor riesgo arrojados por IVSD. Se identifican así los barrios efectivamente más vulnerables ante las inundaciones.

7. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología de análisis de riesgos de desastres desarrollada en el apartado anterior.

7.1. Validación del área de Peligrosidad propuesta

El área de peligrosidad propuesta, tomada de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Buenos Aires (SSRRHH-PBA) tuvo dos fuentes de validación: una mediante relevamiento de bibliografía, y otra, mediante aplicación de análisis visual y digital de imágenes de satélite.

7.1.1. Validación mediante relevamiento bibliográfico

El resultado del relevamiento en bibliografía y reportes periodísticos fue la sistematización en una tabla de todas las zonas y puntos en que se registró inundación (Anexo 1). Desde esta tabla se georreferenciaron en una capa vectorial, sobre un entorno SIG, los puntos inundados (Figura 7.1).

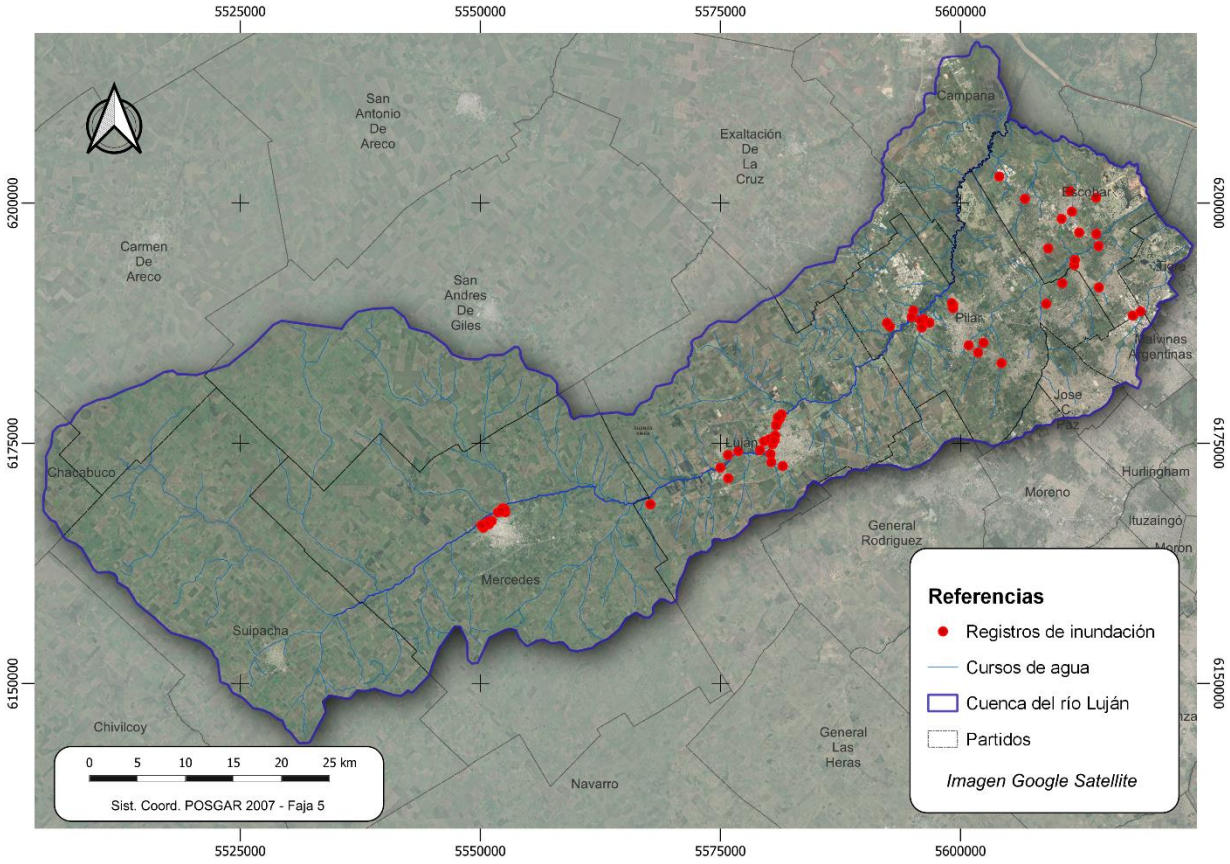


Figura 7.1. Sitios inundados a partir de crecidas del Río Luján y tributarios. Elaboración propia a partir de relevamientos periodísticos.

Se observa que de 69 los puntos con impactos de inundación georreferenciados, 48 se encuentran sobre el área que se pretende validar, esto es el 70 % de los puntos relevados.

Se concluye que la mayor cantidad de impactos de inundación tienen lugar en la cuenca baja y media alta. En la cuenca baja se observan eventos ocurridos en Pilar y Tigre, y en la cuenca media y alta en las inmediaciones de la ciudad de Luján y la ciudad de Mercedes.

7.1.2. Validación mediante imágenes satelitales

Se aplicó la combinación de bandas RGB 564 (SEDATU, 2018) a las 5 imágenes presentadas en la Tabla 6.2, permitiendo la mejor discriminación visual de los cuerpos de agua y suelos húmedos de suelos secos, con el sensor utilizado (Anexo 2). Se seleccionó la imagen del 16/08/2015 para analizar visualmente y digitalizar áreas inundables, debido a que esta escena es la presenta la mayor presencia de agua y humedad en la zona de estudio. El resultado de la digitalización de la imagen de agosto del 2015 se observa en el siguiente mapa:

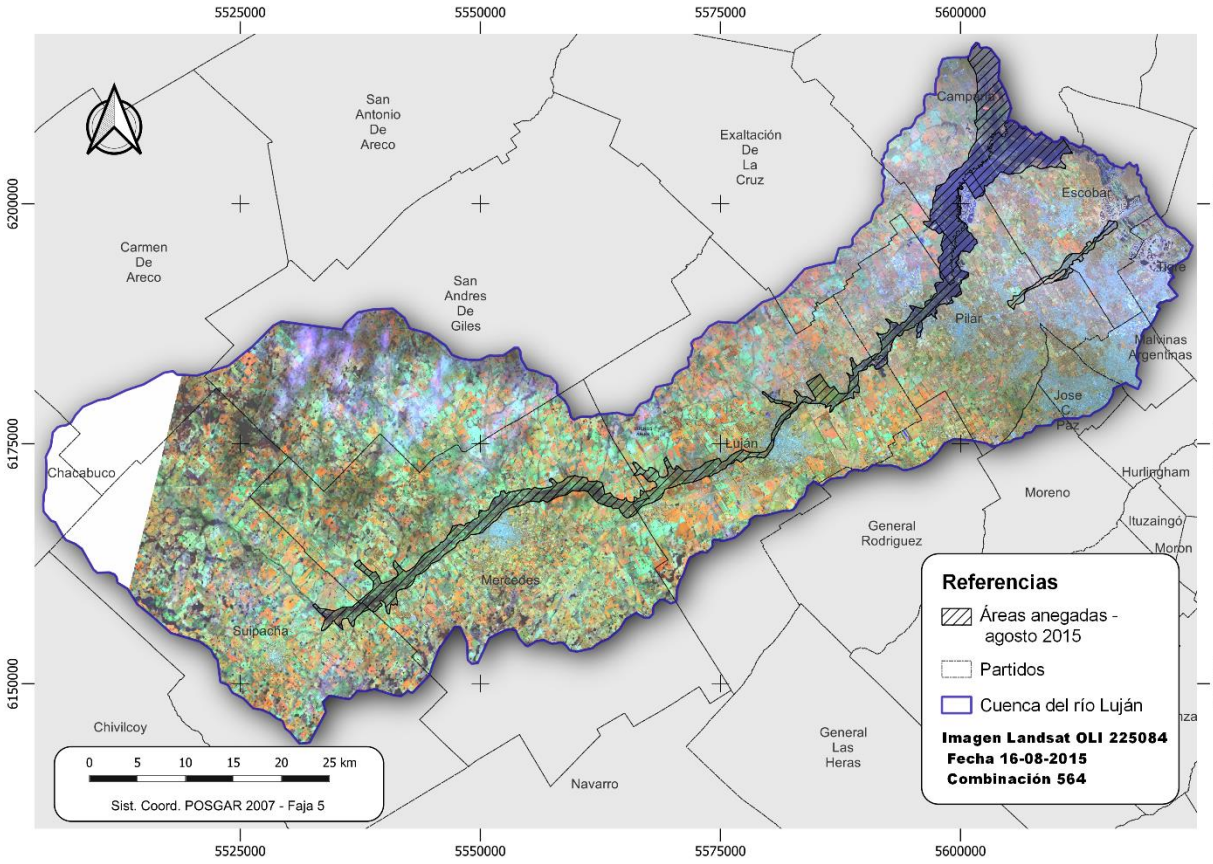


Figura 7.2. Áreas con alto contenido de humedad y agua en superficie, trazado a partir de análisis visual arrojado con composición 564. Elaboración propia.

Por otro lado, mediante análisis digital, con la imagen de la misma fecha, se calculó el índice MNDWI. El índice dio como resultado un raster unibanda con valores de -1 a 1, donde los valores superiores a 0 corresponden a superficies con alta probabilidad de presencia de Agua. Se observa el resultado categorizado en el siguiente mapa:

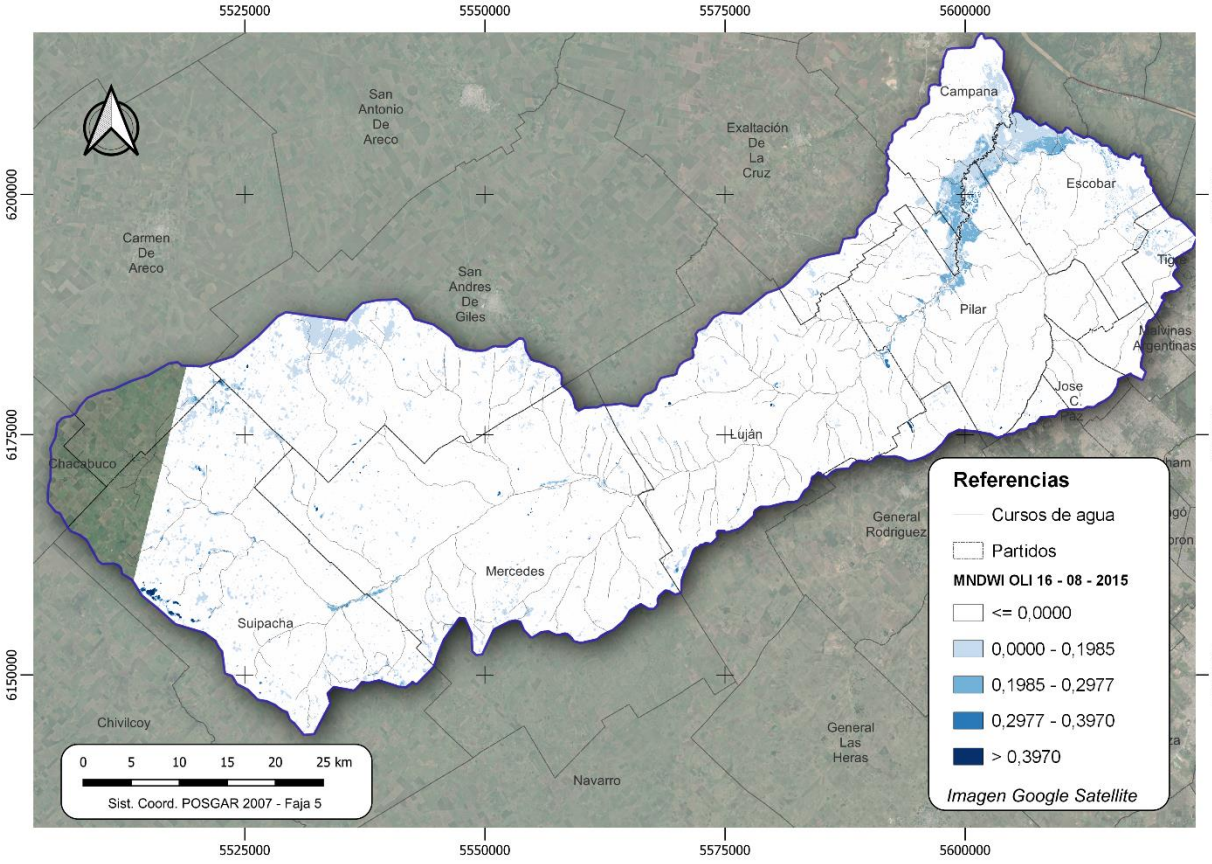


Figura 7.3. Índice MNDWI: Áreas con alto contenido de humedad y agua en superficie.

Finalmente se generó una capa binaria (Agua/No agua), donde se observa que la superficie que se pretende validar posee gran cantidad de píxeles marcados con categoría Agua (Figura 7.4).

7.1.3. Resultado de la validación

Como resultado de estos análisis se superpusieron los tres productos generados al área de peligrosidad determinado por la SSRRHH-PBA. Se le superpusieron: mapa de puntos inundados, capa de áreas de inundación detectados mediante análisis visual y mapa con contenido de agua

obtenido del índice MNDWI. El resultado se puede observar en el siguiente mapa:

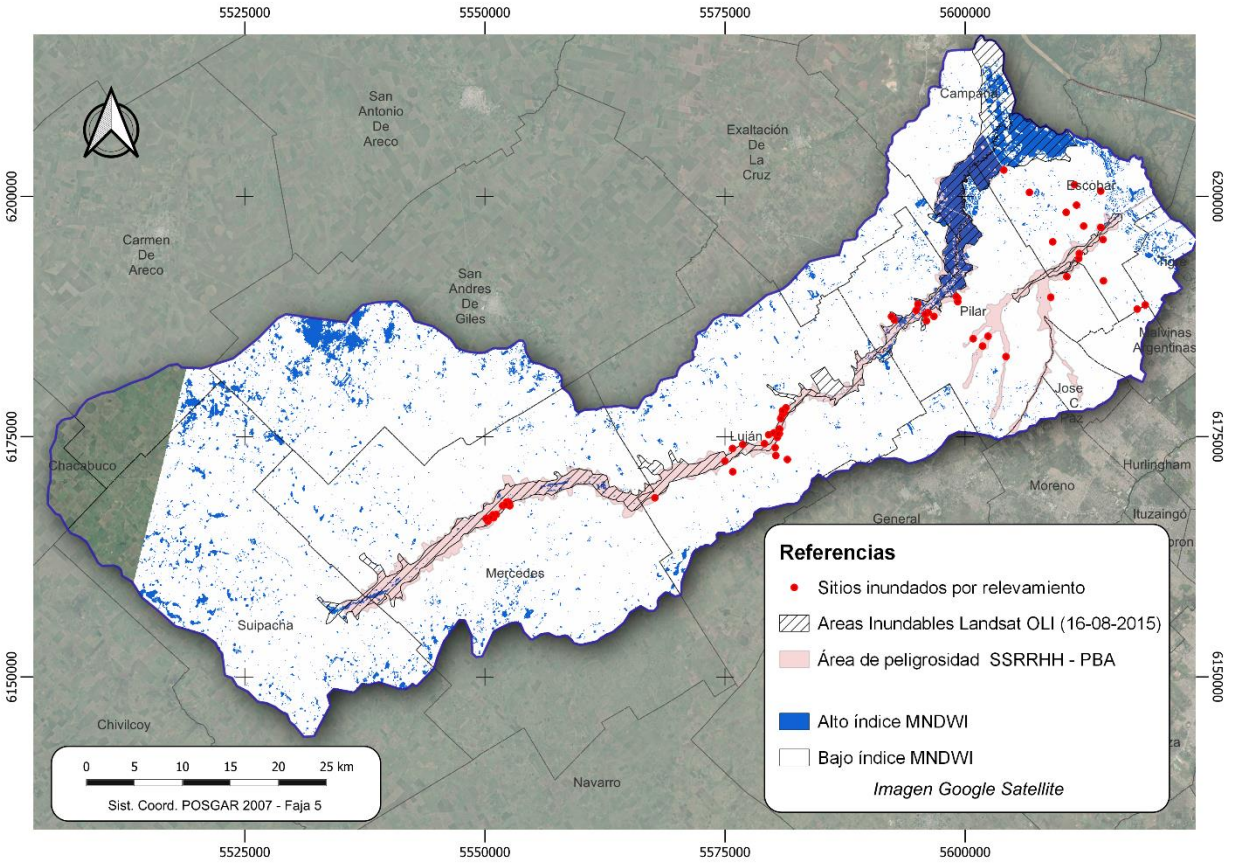


Figura 7.4. Validación de área de Peligrosidad de la cuenca del Río Lujan publicada por la Subsecretaría de Recursos de la Provincia de Buenos Aires.

El mapa muestra que el área de peligrosidad propuesta coincide:

- Con el 70% de los eventos de inundación relevados dentro del área de peligrosidad;
- el 39,4% de la superficie de peligrosidad propuesta fue cubierta con alto índice de MNDWI, es decir, con presencia de agua/humedad observada en la imagen.
- El 67 % del área de peligrosidad está cubierta por superficies identificadas con humedad a partir de la detección visual realizada en la imagen de agosto 2015.

Por lo tanto, se valida el área de peligrosidad propuesta y publicada por SSRRHH-PBA como área de amenaza potencial ante inundaciones.

7.2. Determinación del área de Exposición

Para determinar el área de Exposición se utilizaron dos metodologías complementarias, la clasificación digital de imágenes satelitales y la detección visual de áreas urbanas.

7.2.1. Resultados del análisis digital de imágenes

(1) Clasificación de suelos en la cuenca del río Luján:

Se realizaron las clasificaciones supervisadas de las imágenes Landsat correspondientes a los tres cortes temporales analizados: 1999, 2010 y 2020. Las clases utilizadas para la clasificación de suelos fueron las siguientes:

- Área edificada
- Suelo desnudo
- Vegetación densa
- Vegetación baja
- Agua

Para la clasificación digital de imágenes se utilizó el clasificador de Mapeo del Ángulo Espectral (SAM) obteniéndose los resultados observados en la Figura (7.5) para la cuenca del río Luján, una para cada fecha analizada. Se observa un resultado para cada fecha:

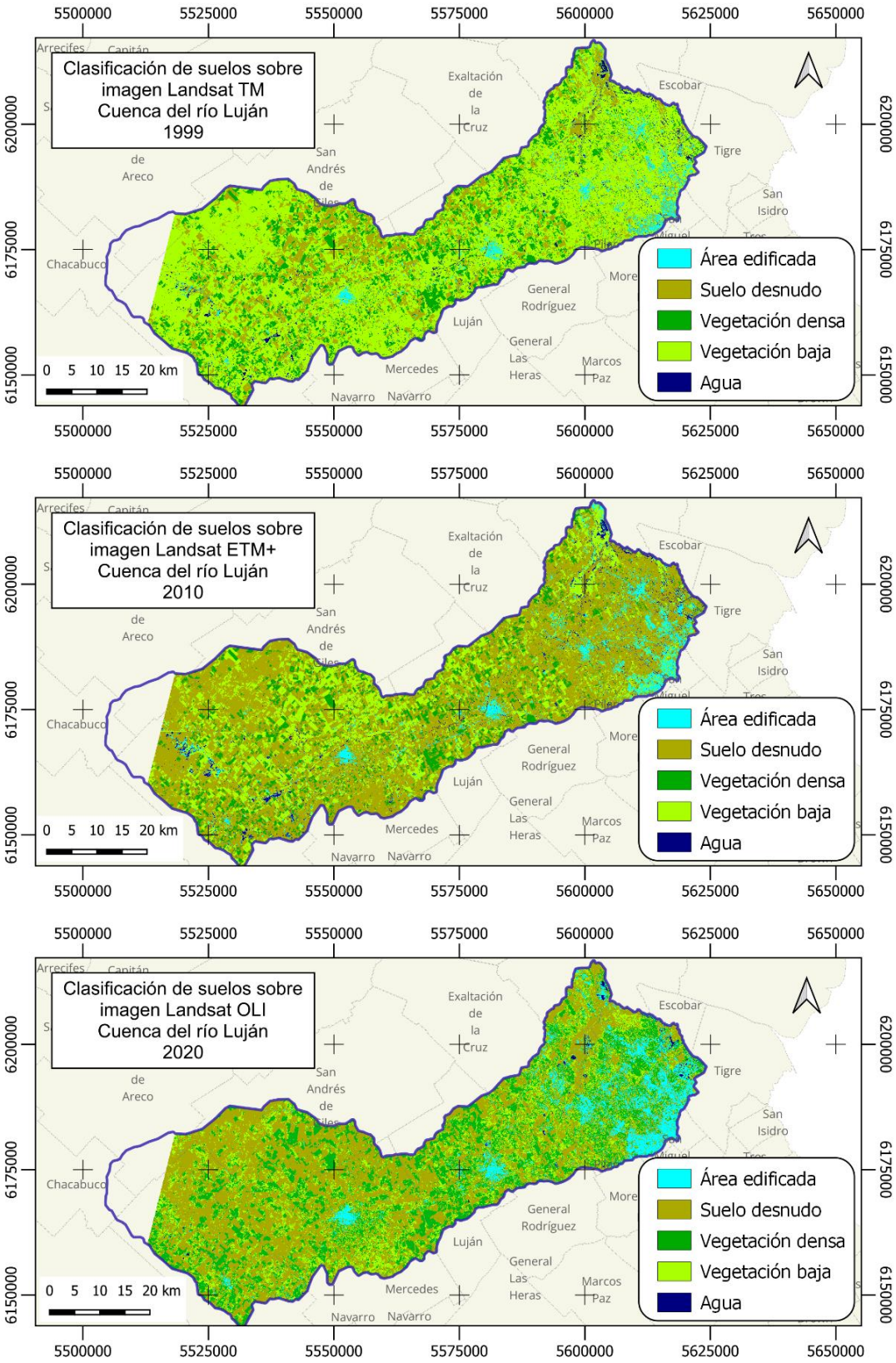


Figura 7.5 Clasificaciones supervisadas obtenidas para las tres fechas de estudio en la cuenca del Río Luján.

(2) Validación de la clasificación

Para validar cada clasificación se aplicó una Matriz de Confusión a partir del cual se obtuvieron los siguientes estadísticos:

- Fiabilidad Global, según Fórmula (8) para la Clasificación de cada imagen (Anexo 3), se obtuvieron los siguientes resultados:

- Clasificación de 1999: 79%
- Clasificación de 2010: 86%
- Clasificación de 2020: 72%

En todos los casos los porcentajes superan el 70% por lo que se confirma que las clasificaciones son válidas para continuar con el análisis.

- Índice Kappa, según Fórmula (9) para la clasificación de cada imagen. Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Clasificación de 1999: 0.79, con un nivel de concordancia *Considerable*
- Clasificación de 2010: 0.82, con un nivel de concordancia *Casi perfecta*
- Clasificación de 2020: 0.65, con un nivel de concordancia *Considerable*

(3) Análisis de la clasificación

Tras la observación de la clasificación de suelos para cada fecha, se aprecian modificaciones en la fenología de las coberturas de vegetación entre los distintos años, esto se debe principalmente a la variación del mes de toma de cada año entre las distintas imágenes. El objetivo del trabajo es determinar el crecimiento en la cobertura categorizadas como Área Edificada. Se observa que esta clase va aumentando su superficie en las principales ciudades de la cuenca del río Luján en cada corte temporal, tal como muestra la Figura 7.6, que muestra la clasificación para las ciudades de Mercedes y Luján. En los asentamientos más pequeños no se observa tal precisión. En cuanto a las limitaciones se encuentran varios píxeles categorizados como Área Edificada que se corresponden a Suelo Desnudo. Esta limitación se observó en el gráfico de firmas espectrales analizado previamente a la clasificación.

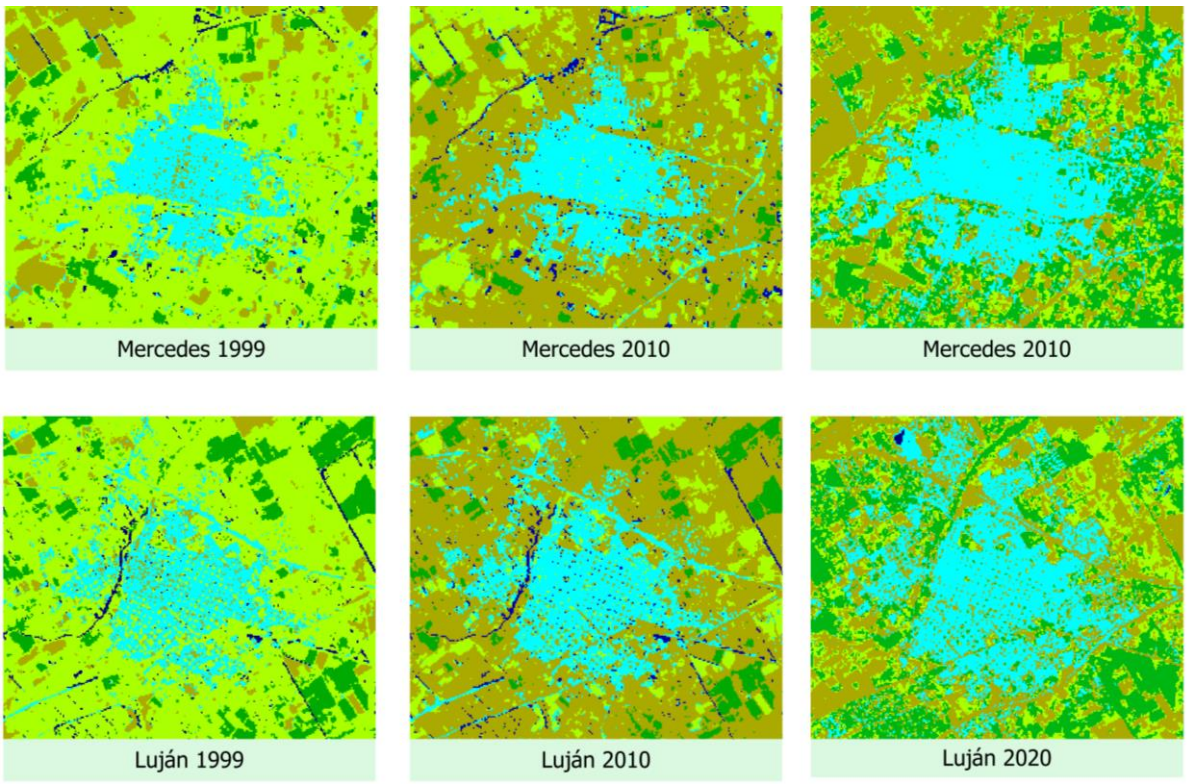


Figura 7.6 Crecimiento de las principales ciudades, observados a partir de la clasificación digital supervisada.

7.2.2. Detección visual de áreas urbanizadas

La clasificación supervisada dio como resultado una categorización de todos los píxeles de la imagen en 5 clases: Área edificada, Suelo desnudo, Vegetación densa, Vegetación baja y Agua. Nuestra categoría de interés es Área Edificada.

Los resultados obtenidos muestran que en la categoría Área Edificada se insertaron píxeles de Suelo desnudo, conceptualmente son errores de comisión y en suelo desnudo y vegetación baja se clasificaron superficies de suelo ocupado por asentamientos, errores de omisión. Para delimitar con mayor precisión las áreas de asentamiento de la cuenca para cada año, se utilizaron las imágenes históricas de Google Earth Pro.

Para ello primero se vectorizaron las áreas clasificadas como Área Edificada utilizando QGIS y los polígonos resultantes se editaron con la observación directa las imágenes.

7.2.3. Resultados de la clasificación y digitalización: Evolución del área edificada

El resultado de la digitalización de las tres fechas dio como resultado un incremento de la superficie urbanizada entre 1999 y 2010.

- En 1999 la superficie urbanizada de la cuenca era de 444,35 km2.
- En 2010 la superficie urbanizada de la cuenca era de 516,3 km2
- En 2020 la superficie urbanizada de la cuenca era de 613,51 km2

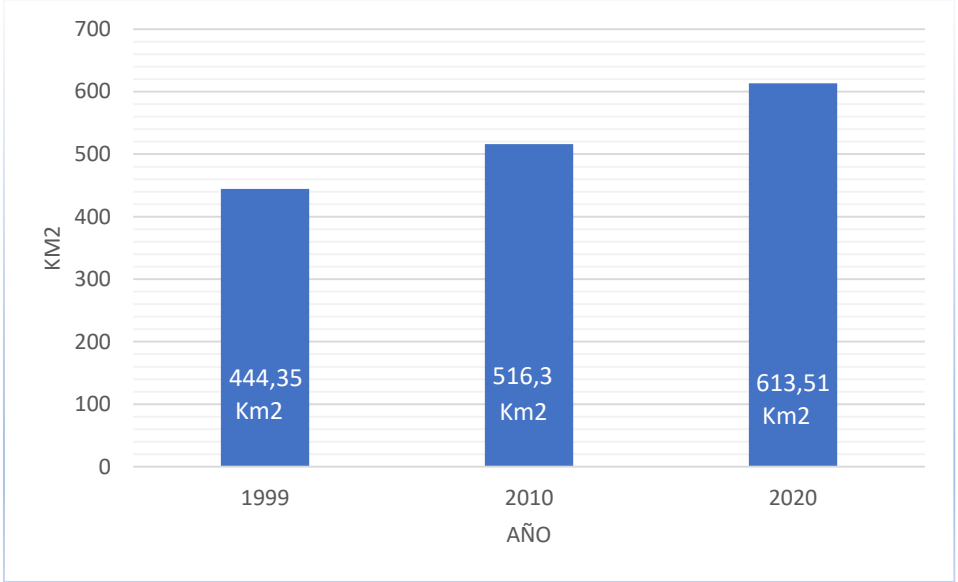


Gráfico 7.1 Superficie urbanizada en 1999, 2010 y 2020 en la Cuenca del Río Luján.

Esto significa un incremento de la superficie urbanizada de 28,8 % entre 1999 y 2020.

A continuación, se observa el crecimiento de la superficie urbanizada entre las tres fechas, es importante destacar que en muchos casos se existe una densificación de la urbanización a partir de las primeras áreas trazadas.

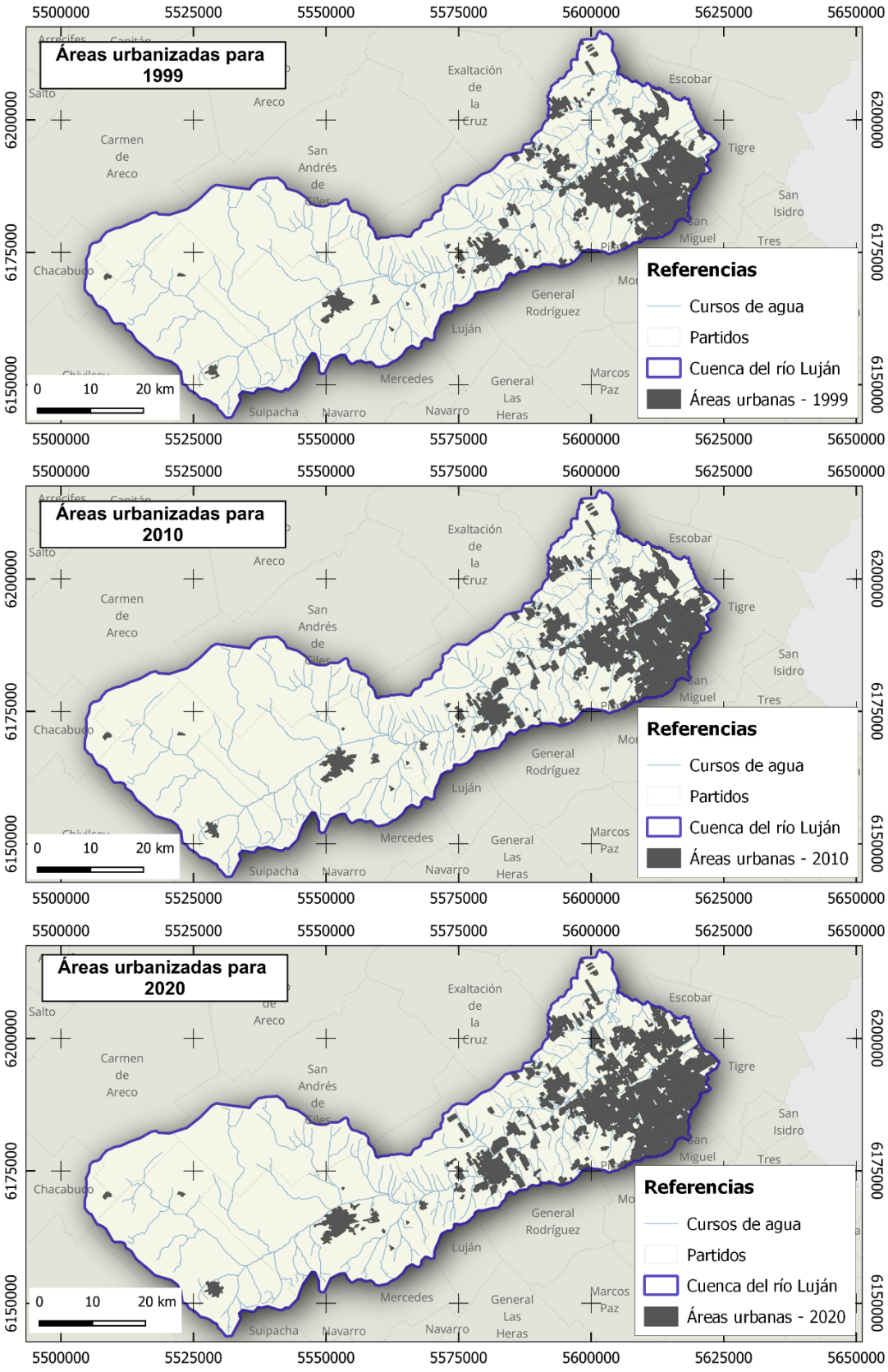


Figura 7.7. Áreas urbanizadas para las tres fechas de estudio. Elaboración propia.

7.3. Resultados del análisis de la Vulnerabilidad Social

El procesamiento de cada uno de los indicadores utilizados presentó un comportamiento particular tanto en valores absolutos como sus valores relativos para cada radio censal de la cuenca. Se obtuvieron 19 mapas, 10 de valores absolutos y 9 de valores relativos (Anexo 4).

Tras el procesamiento de todos los indicadores absolutos por un lado y relativos por otro se obtuvieron los mapas correspondientes al IVSD Absoluto y al IVSD Relativo. Luego tras el cruce final de los mapas de ambos índices se obtuvo el mapa final de IVSD Síntesis. En el mapeo de estos se pueden apreciar los radios que presentan de menor a mayor Vulnerabilidad ante riesgos de desastres.

7.3.1. Índice de Vulnerabilidad Social ante Desastres. Valores absolutos

El resultado del IVSD en valores absolutos, muestra valores más altos en la cuenca baja, y debido a la naturaleza de sus datos, también se observan valores más altos cerca de los núcleos urbanos. Se debe considerar que gran parte de la cuenca, más allá de la superficie determinada como edificada se compone de extensas áreas rurales con muy baja densidad poblacional, por lo que los valores absolutos necesariamente serán más bajos. El mapa resultante se observa a continuación:

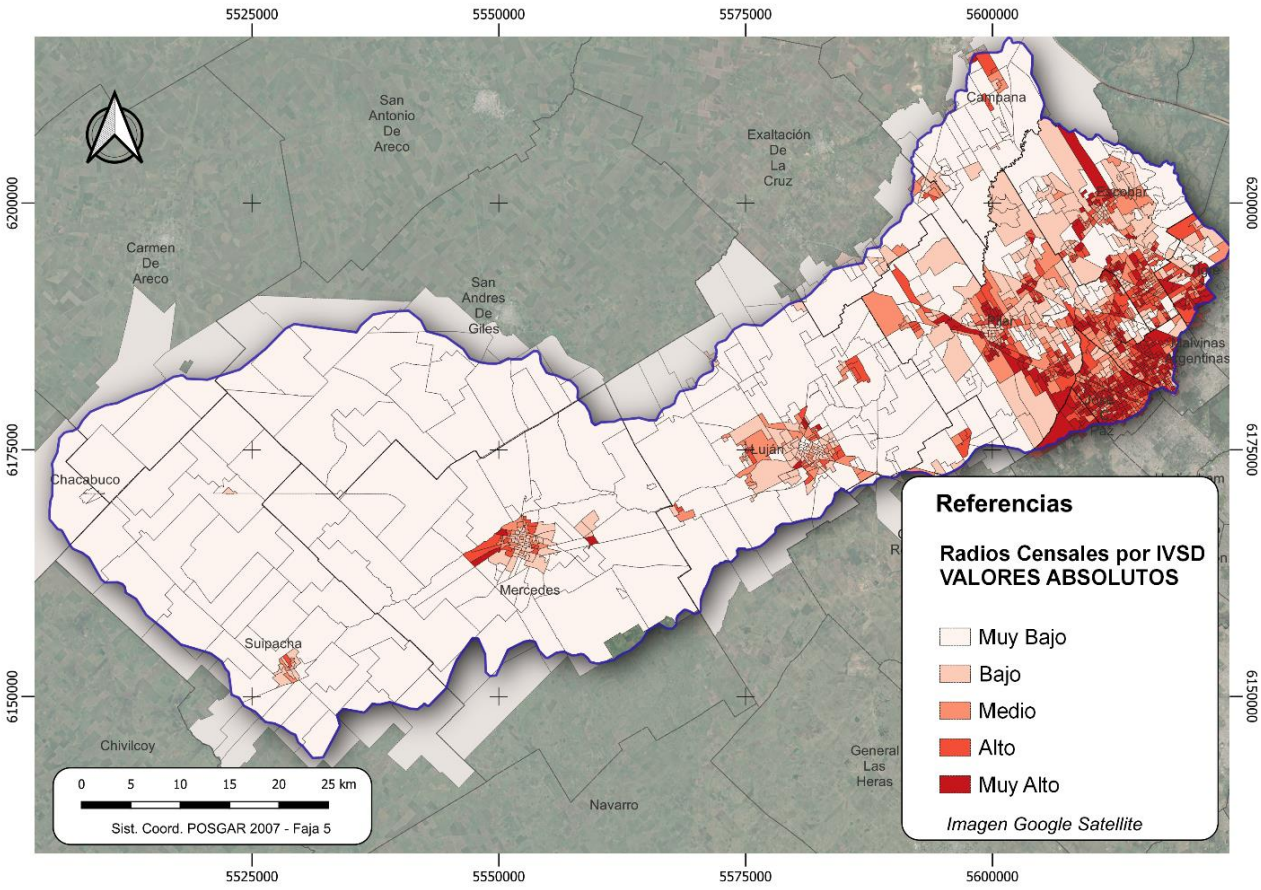


Figura 7.8. Radios censales con IVSD por Valores Absolutos sobre la cuenca del río Luján. Elaboración propia.

7.3.2. Índice de Vulnerabilidad Social ante Desastres. Valores relativos

El resultado del IVSD en valores relativos (Figura 7.9) muestra otra forma de analizar la vulnerabilidad. En este caso es fundamental subrayar nuevamente la configuración territorial de la cuenca, donde las áreas urbanas se concentran en la cuenca baja (mancha urbana de la RMBA) y en la cuenca media y alta se limitan a los entramados urbanos de las ciudades de Luján, Mercedes y Suipacha (ver Figura 7.7). En términos absolutos, si consideramos los núcleos urbanos, los índices más altos se encuentran principalmente en la cuenca baja. Luego se observan valores altos hacia las áreas rurales, debido a que los valores relativos se calculan sobre la totalidad de los hogares o personas, siendo que si estos son escasos, un pequeño valor absoluto puede significar igualmente un valor relatvo alto.

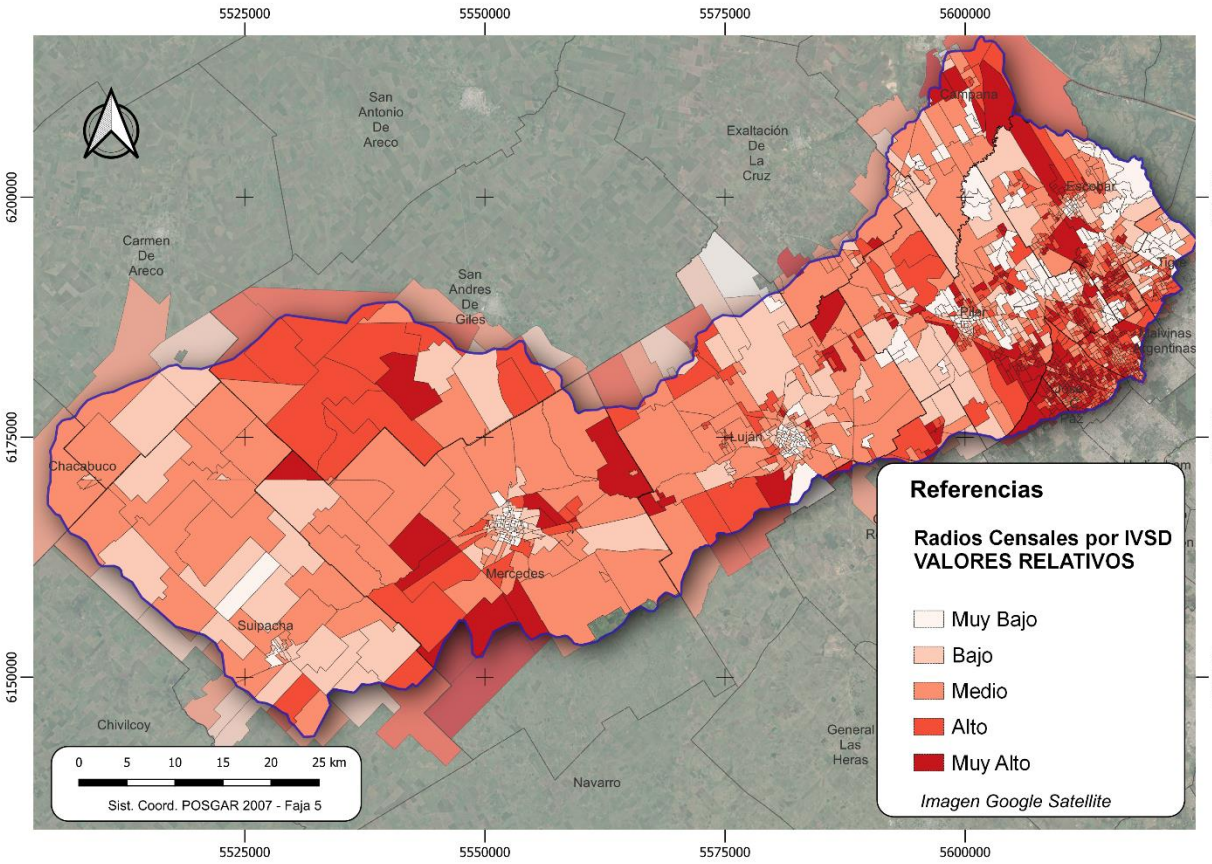


Figura 7.9. Radios censales con IVSD por Valores Relativos sobre la cuenca del río Luján. Elaboración propia.

7.3.3. Índice Síntesis de Vulnerabilidad Social ante Desastre

En los mapas resultantes vistos anteriormente (Figura 7.8 y 7.9) se puede observar que los partidos ubicados en la cuenca baja, principalmente en los partidos de Tigre, Escobar, Pilar, Malvinas Argentinas y José C. Paz poseen mayor cantidad de radios con índices más altos de vulnerabilidad según valores absolutos y relativos. Para los partidos de Luján y Mercedes la alta vulnerabilidad tiene lugar en los radios ubicados más cerca del río y que además tienen mayor densidad de población, es decir, radios no rurales.

Como se puede observar ambos índices nos proveen diferente información principalmente en los radios rurales. Estos últimos presentan en su mayoría valores altos del índice. Es decir, si bien en términos absolutos los habitantes/hogares son escasos y pueden presentar escasa vulnerabilidad (primer o segundo quintil), en términos relativos esa población presenta un valor alto si se considera la totalidad de los habitantes/hogares de cada radio. En este IVSD Síntesis las categorías obtenidas también son cinco, desde los valores más altos cuando se combinan las categorías más altas de los dos IVSD, presentando así el peor escenario de vulnerabilidad social;

los valores medios presentan combinación de los 5 cortes tanto relativos como absolutos; los valores bajos combinan solamente valores bajos entre los dos índices, presentando escenarios de radios con vulnerabilidad baja.

En la Figura 7.10 se aprecia la distribución de la vulnerabilidad social de todos los radios censales de la cuenca. Los partidos ubicados en la cuenca baja poseen radios con índices altos de forma distribuida a lo largo de todo el partido. En la cuenca media y alta la vulnerabilidad mayor se encuentra en los radios cercanos al centro de los núcleos urbanos de Luján y Mercedes, dos ciudades que poseen antecedentes de inundaciones recurrentes.

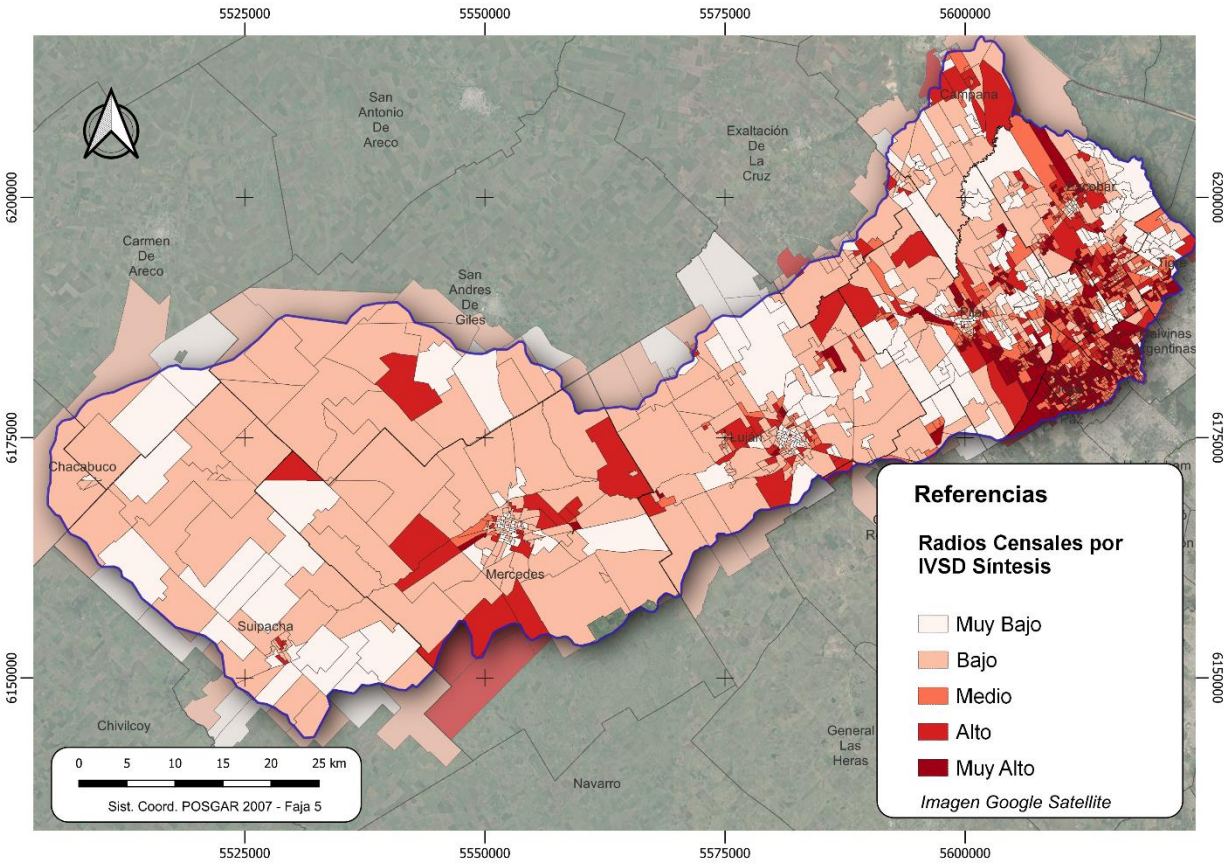


Figura 7.10. Radios censales con IVSD Síntesis sobre la cuenca del río Luján. Elaboración propia.

7.4. Resultados del análisis del riesgo

El mapa de riesgo fue resultado de la sumatoria de los mapas raster de Amenaza, Exposición y Vulnerabilidad Social tal como se indica en la Fórmula (10)

Utilizando la calculadora raster, dentro del entorno QGIS, se sumaron los tres mapas aplicando previamente la siguiente categorización para cada capa:

Dimensión	***Valor***
Amenaza	0 (sin amenaza) 0,25 (con amenaza)
Exposición	0 (sin población expuesta) 0,25 (con población expuesta)
Vulnerabilidad Social.	0,1 (vulnerabilidad muy baja) 0,2 (vulnerabilidad baja) 0,3 (vulnerabilidad media) 0,4 (vulnerabilidad alta) 0,5 (vulnerabilidad muy alta)

Tabla 7.1. Estandarización de los mapas de las dimensiones del riesgo.

A partir de la sumatoria de los 3 indicadores rasterizados se obtuvo una capa raster con valores entre 0,1 y 1. De esta forma el valor más bajo de riesgo será 0,1 (riesgo muy bajo de inundaciones) y el valor más alto será 1 (riesgo muy alto a inundaciones).

El índice de Riesgo posee 5 categorías:

- Riesgo Muy bajo (<=0,1)
- Riesgo Bajo (<= 0,33)
- Riesgo Medio (<= 0,55)
- Riesgo Alto (<= 0,77)
- Riesgo Muy Alto (<= 1)

El mapa de Riesgo se muestra a continuación.

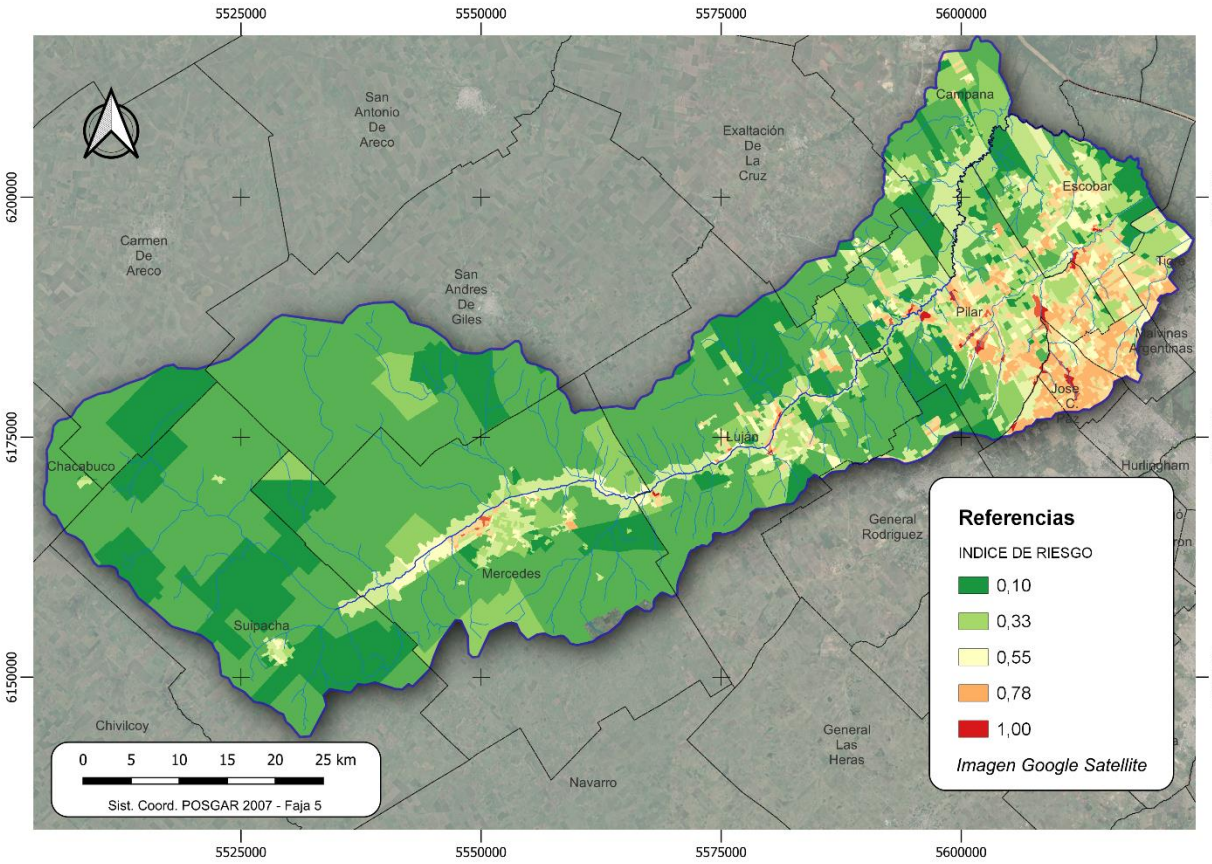


Figura 7.11. Mapa de Riesgo por inundaciones en toda la cuenca del Río Luján, según marco conceptual adoptado. Elaboración propia.

Del mapa resultante se observan que los radios censales con mayores índices de riesgo (mayores a 0,78), cuya superficie suma 11,5 km2, se corresponden a barrios en estado más crítico, situadas en las proximidades de los ríos, en las periferias de las ciudades de Escobar, Pilar, Luján, Mercedes, Moreno y José C Paz.

Observando partido por partido los índices de riesgo más altos se encuentran en los siguientes barrios:

- **Escobar**: Fincas del Lago, San Luis, Álamo Alto, Barrio Amancay.
- **Pilar**: Agustoni, Río Luján, Barrio Lucchetti, El Manantial, San Jorge-San Francisco, Vicente López, Pilarica, Peruzzoti, Mundo Aparte, Padre Urquiza, Santa María, Las Quintas, San Souci, Santa Ana, Comunidad Toba, Los Tilos, Pinazo, Solares del Norte y San Cayetano.
- **Luján**: RENABAP 592, sector Barrio Nuevo, Padre Varela, La Loma, San Fermín.
- **Mercedes**: Redes, Malvinas, Marchetti, Marchetti II, Facundo Quiroga,

- **Moreno**: El Vergel
- **José C Paz**: San Atilio, Sol y Verde, Comunidad Guaraní, Nuestra señora de Caacupé, 11 de septiembre y Fernández Moreno, El Ceibo, y Potosí y Florencio Ballesteros.

Estos barrios se condicen con los relevados en el apartado de Peligrosidad, donde se analizó bibliografía académica y periodística de los barrios más inundados en la cuenca. Como se desarrollará en el siguiente apartado, la mayoría de esos barrios corresponden a barrios populares, aunque no todos.

7.5. Resultados del análisis del Riesgo en los barrios RENABAP

Al mapa de Riesgo resultante se le incorporó la capa de Barrios RENABAP para el año 2020, fecha límite del recorte temporal analizado.

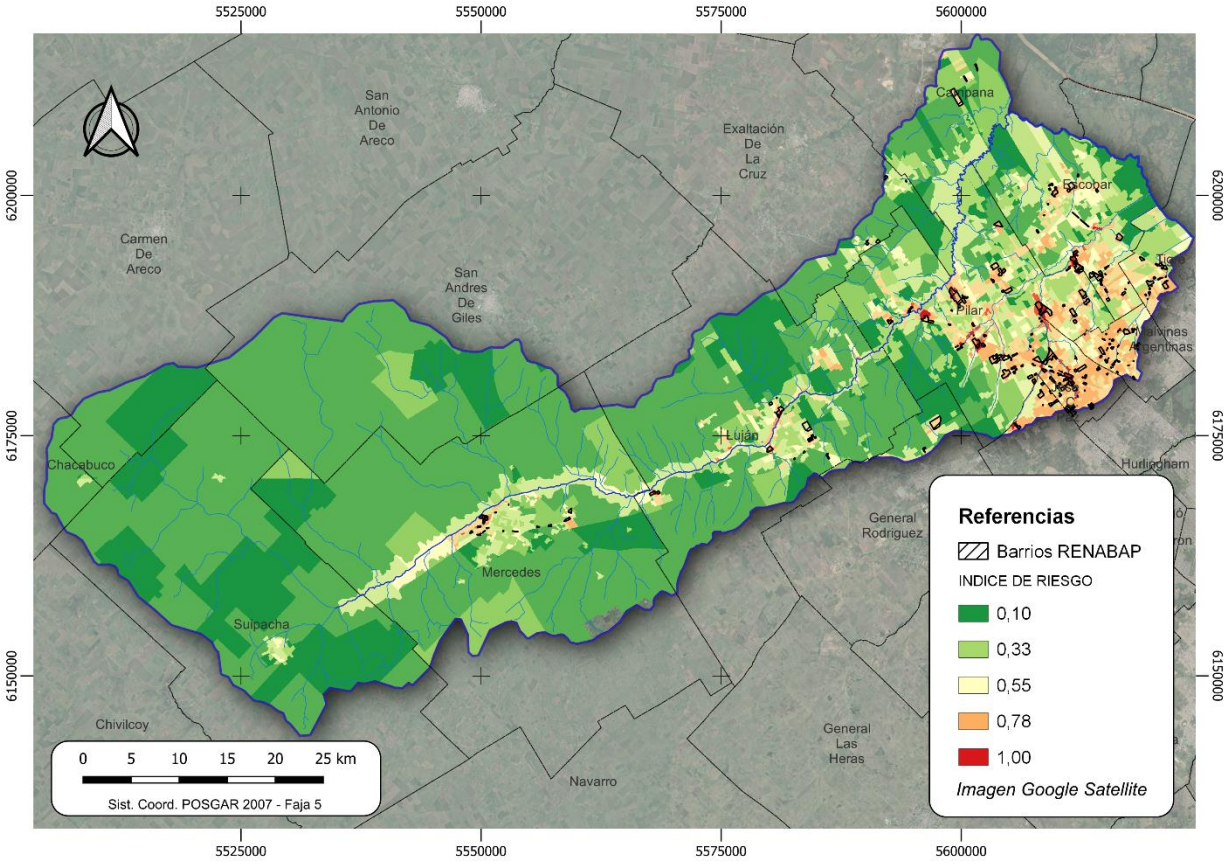


Figura 7.12. Mapa de Riesgo por inundaciones en toda la cuenca del Río Luján junto con los barrios RENABAP para el 2020. Elaboración propia.

Mediante análisis de superposición se filtraron los barrios que se encuentran en áreas con Riesgo Alto y Muy Alto, con el objetivo de identificar los asentamientos con mayor riesgo a experimentar

una catástrofe. Los productos cartográficos resultantes muestran los barrios RENABAP del 2020 con mayor riesgo. Los productos cartográficos a nivel partido se pueden observar a continuación:

- Partido de Escobar:



Figura 7.13. Mapa de riesgo de inundaciones para el partido de Escobar con barrios Renabap afectados. Elaboración propia.

Para el partido de Escobar los barrios RENABAP que muestran arrojan riesgo muy alto son Amancay y Amancay II.

- Partido de José C Paz:

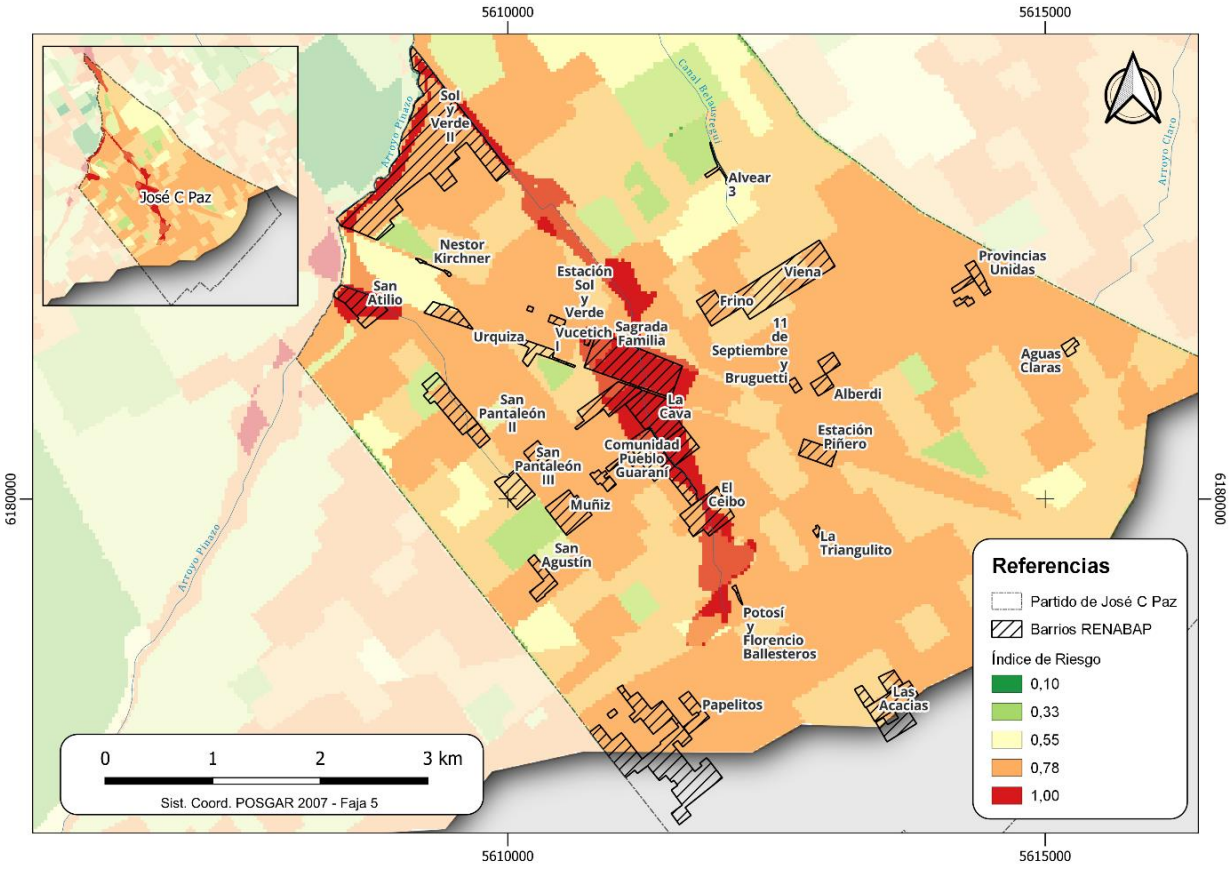


Figura 7.14. Mapa de riesgo de inundaciones para el partido de José C Paz con barrios RENABAP afectados. Elaboración propia

Para el partido de José C Paz los barrios Renabap que arrojan riesgo muy alto son: Nuestra Señora de Caacupé, Sagrada Familia, 11 de septiembre y Fernández Moreno, Comunidad Guaraní, San Atilio, La Cava, El Ceibo, Sol y Verde II.

- Partido de Pilar

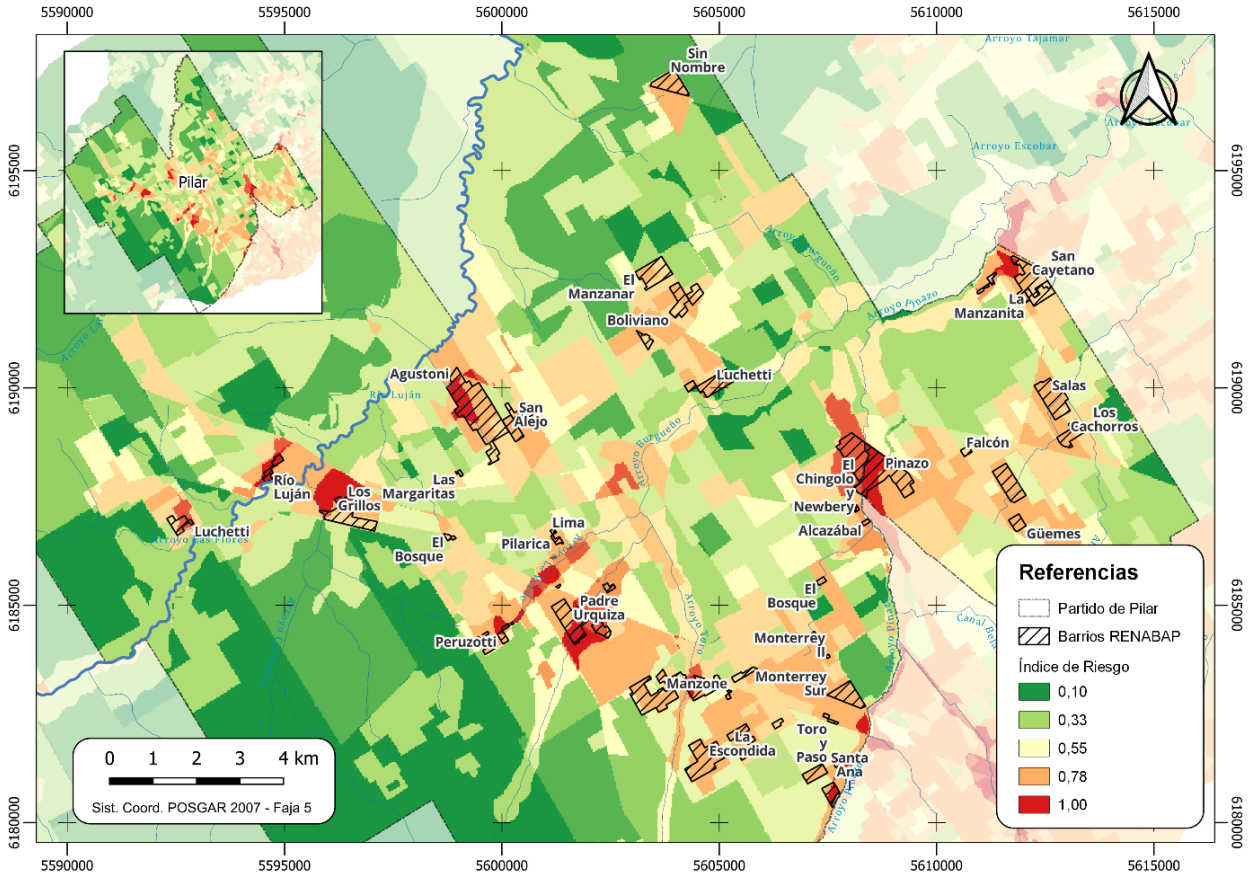


Figura 7.15. Mapa de Riesgo de Inundaciones para el partido de Pilar con barrios RENABAP afectados. Elaboración propia.

Para el partido de Pilar los barrios Renabap que arrojan riesgo muy alto son: Agustoni, San Souci, Santa Ana II, Los Grillos, Luchetti, Padre Urquiza, Gauchito Gil, Pinazo, Río Luján, Los Tilos, Santa Ana I, Peruzotti, El Manantial

- Partido de Luján

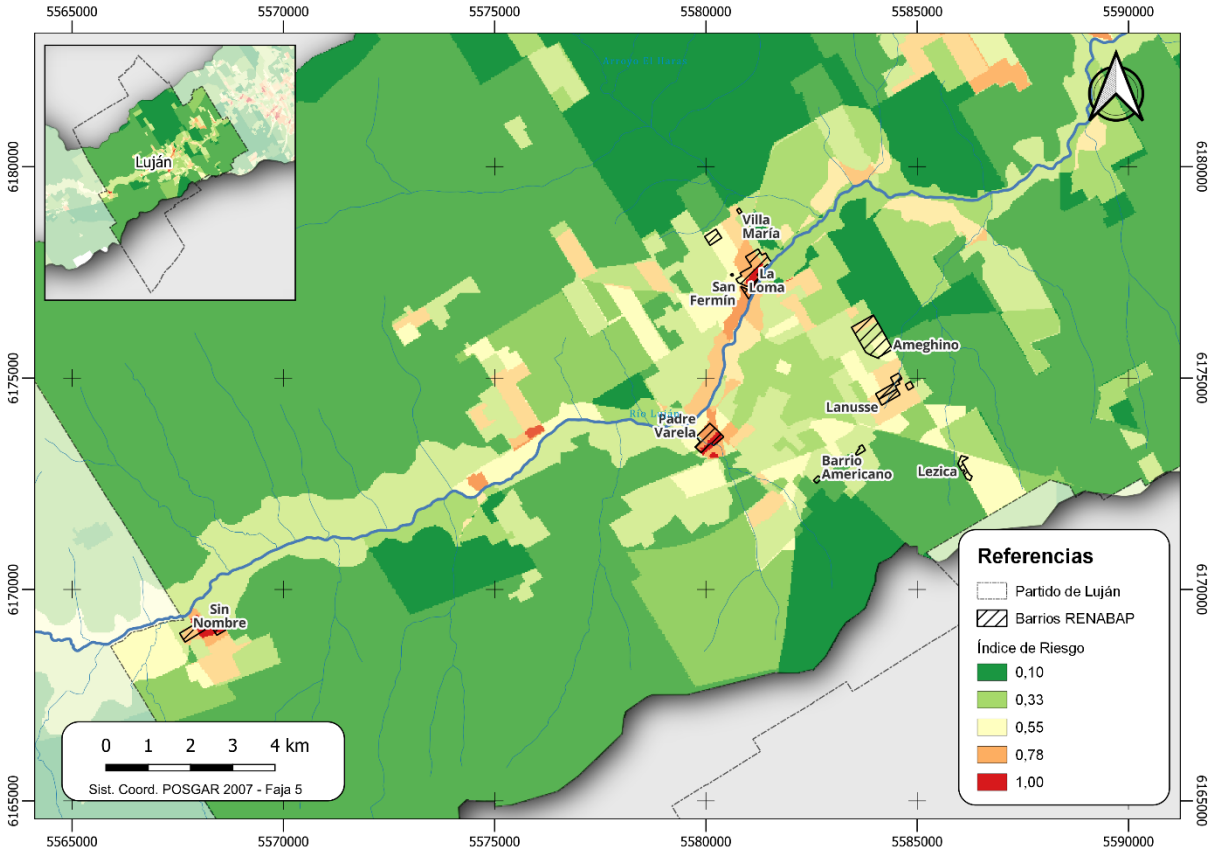


Figura 7.16. Mapa de Riesgo de Inundaciones para el partido de Luján con barrios RENABAP afectados. Elaboración propia.

Para el partido de Pilar los barrios Renabap que arrojan riesgo muy alto son Barrios Padre Varela, La Loma y San Fermín.

- Partido de Mercedes

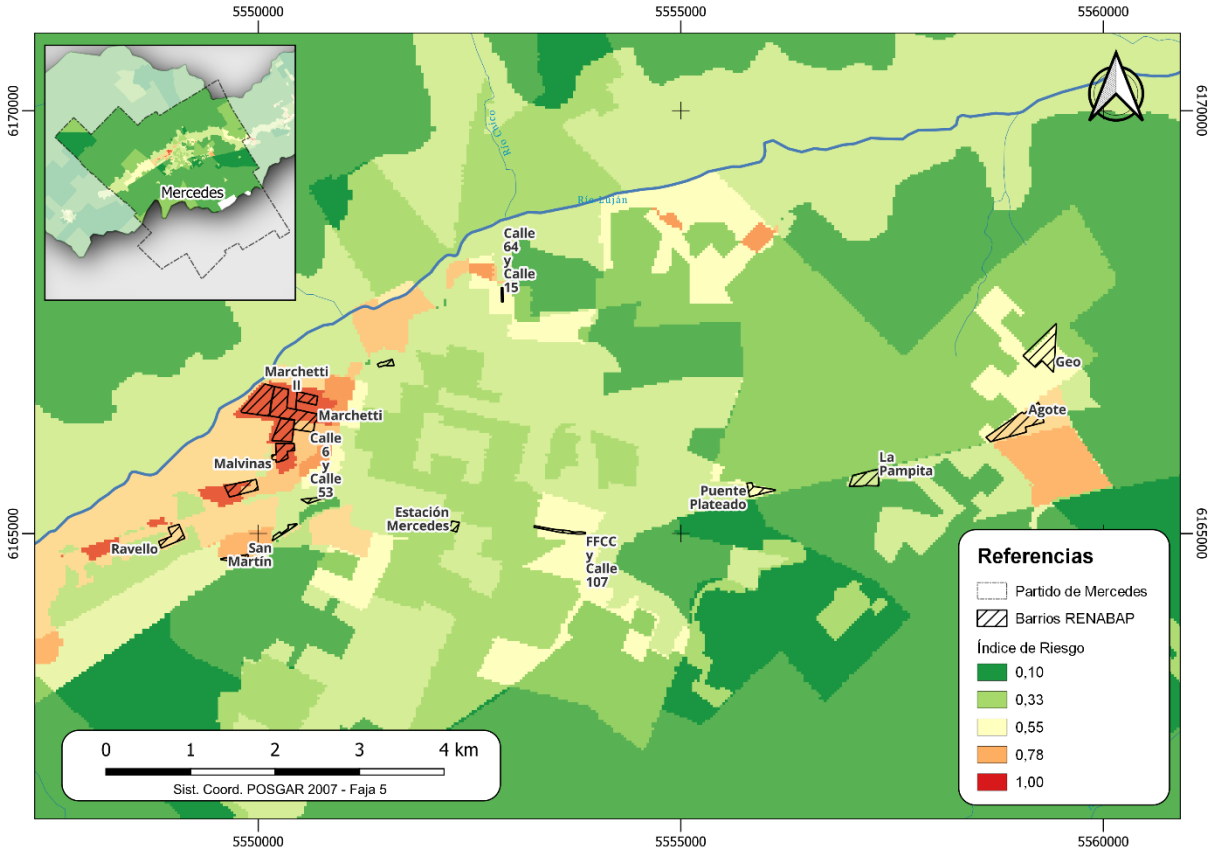


Figura 7.17. Mapa de Riesgo de Inundaciones para el partido de Mercedes con barrios RENABAP afectados. Elaboración propia

Para el partido de Mercedes los barrios Renabap que arrojan riesgo muy alto son Barrios Marchetti, Marchetti II, Facundo Quiroga, Redes y Malvinas.

- Partido de Moreno

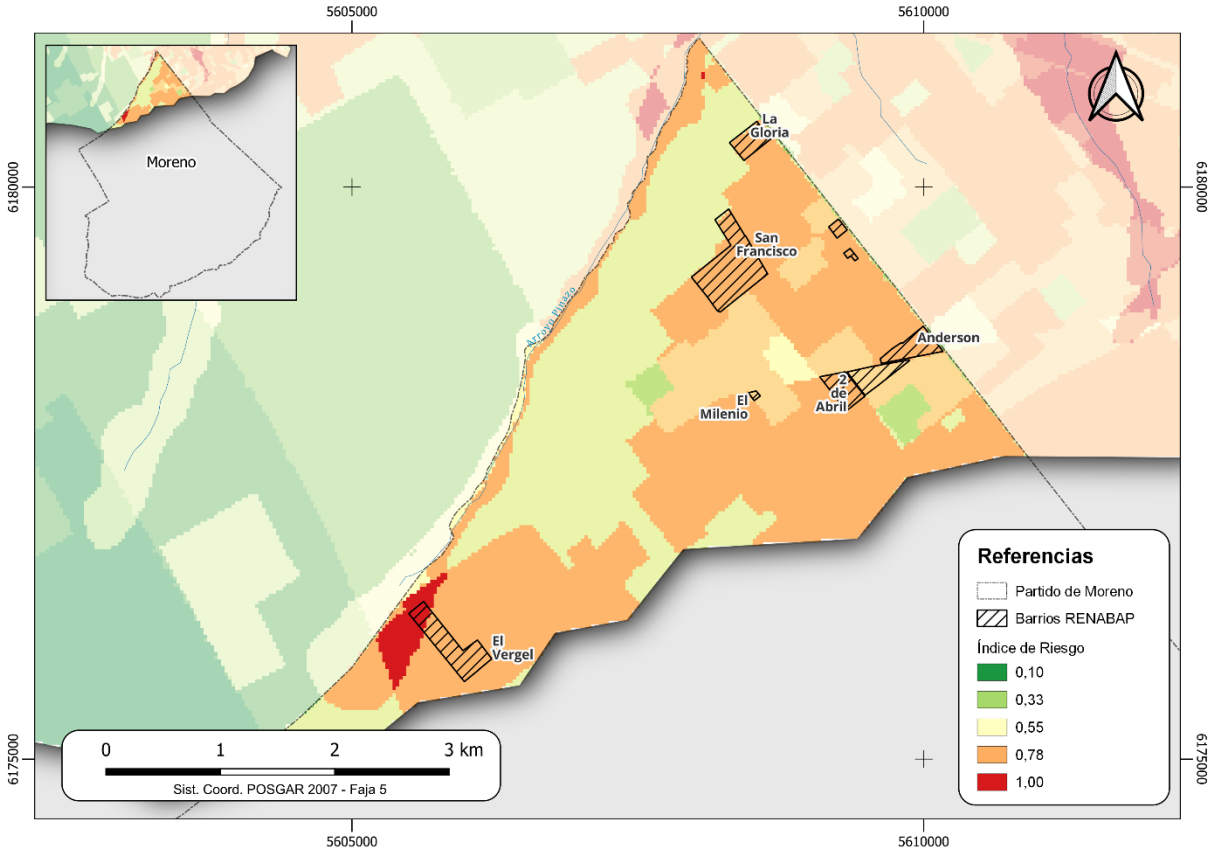


Figura 7.18. Mapa de Riesgo de Inundaciones para el partido de Moreno con barrios RENABAP afectados. Elaboración propia

Para el partido de Moreno el barrio Renabap que arrojan riesgo muy alto ante inundaciones en la cuenca del río Luján es el barrio El Vergel.

Considerando, por un lado, la cercanía a lo largo de su cuenca baja a la Región Metropolitana de Buenos Aires, y por otro, que en la misma región se desarrolla un sistema de tributarios desarrollado del Río Luján, se observa un aumento considerable de la cantidad de asentamientos expuestos y en riesgo, principalmente en el partido de Pilar y Escobar. Sin embargo, las inundaciones registradas con efectos catastróficos se han encontrado a lo largo de absolutamente todos los partidos de la cuenca, especialmente en los partidos de Luján y Mercedes en las últimas décadas.

8. DISCUSIÓN

La Teoría Social del Riesgo (TSR) como propuesta teórica adoptada desde el PIRNA, se sostiene en cuatro componentes: Peligrosidad, Exposición, Vulnerabilidad e Incertidumbre. El análisis aquí realizado no aborda sobre la última dimensión. En principio porque se profundizó el desarrollo sobre las primeras tres dimensiones en las cuales la geomática puede intervenir de manera directa, y luego porque la incertidumbre se posiciona sobre el nivel de decisiones políticas que tiene su correspondiente impronta en las vacantes de conocimiento presente en las otras dimensiones.

Según la propuesta teórica de este trabajo, el riesgo de inundaciones en la cuenca de río Luján es la sumatoria de los pesos de la Peligrosidad, Exposición y la Vulnerabilidad Social. El área de peligrosidad que se validó es un área propuesta por la autoridad Hídrica de la Provincia de Buenos Aires. Es un área definida a partir de una modelización teórica con datos de la precipitación 2015. Trabajos como los de Reyna, Spalletti y Brea (2007), que han delimitado áreas con diferentes niveles de peligro de inundación utilizando modelos hidrodinámicos, mediante recurrencias de inundación a 2, 5 y 100 años, obtuvieron resultados similares al área validada por este trabajo. El análisis propuesto en este trabajo presenta un aporte interesante para el análisis de riesgo del río Luján y sus principales afluentes. Estos últimos también experimentaron importantes eventos de inundación, especialmente en el arroyo Burgueño, y el arroyo Pinazo dentro de la cuenca baja, presentado una actualización general de las áreas de peligrosidad con datos de modelización para toda la cuenca en períodos más recientes.

La metodología de validación del área de Peligrosidad utilizando fuentes secundarias, fue de gran utilidad, aunque se deben considerar sus limitaciones. En especial, el relevamiento periodístico mostró noticias centradas principalmente en los núcleos urbanos mayormente concurridos, hitos de interés, o asentamientos con mayor nivel de manifestación de reclamos en general. Es altamente probable que no sean noticia barrios de naturaleza rural, o con menor densidad de población y sin suficiente acceso a medios para efectuar reclamos visibles. El relevamiento periodístico es subjetivo por definición, debido a esta premisa es que se relevaron la mayor cantidad de fuentes disponibles para esa zona de estudio considerándola como inundable.

Determinar la Exposición, requirió definir qué es lo potencialmente afectable. Al considerar sólo asentamientos humanos se recortó del universo afectable, es decir, no se consideraron todas las infraestructuras o medios de producción. La determinación de dónde está expuesta la población

que posee algún nivel de riesgo de inundación y la forma en que la misma fue aumentado su presencia a lo largo de la cuenca en el período analizado, es un aporte significativo de este trabajo, debido a que el riesgo de inundación se va actualizando junto a la configuración territorial de la cuenca que es dinámica por definición. Di Franco (2018) realiza un análisis de la dinámica en el uso y cobertura del suelo entre 1985 y 2015, dentro del cual consideran 15 años en común con el período aquí analizado. Los resultados presentados allí, en cuanto a la evolución y crecimiento de la superficie urbana se condicen con los obtenidos en este trabajo, donde se observa un incremento de las áreas urbanas en un 30% para el período analizado. En ambos trabajos se recurrió a la detección visual y clasificación supervisada de imágenes satelitales Landsat para todo el período de estudio. El uso de la clasificación de imágenes permitió resultados que inicialmente no fueron unívocos con las clases asignadas, debido a que se trabajó con una superficie territorial extensa y diversa. En muchos casos la clasificación de las imágenes Landsat confundían la clase de suelo urbano con suelo desnudo para su conjunto espectral. Sin embargo, estos casos no fueron la mayoría ya que la matriz de confusión presentó un nivel de calidad aceptable.

Por su parte, el análisis de la Vulnerabilidad Social resultó de central relevancia en el análisis del riesgo por inundaciones. Los resultados de los indicadores de vulnerabilidad fueron claros al mostrar la distribución de la población en condiciones de mayor riesgo. Como dice Natenzon (2015), es la vulnerabilidad la que determinará, en gran medida, para quién el riesgo se transformará en catástrofe. Tras analizar el comportamiento espacial de los indicadores de desempleo, analfabetismo, hacinamiento crítico, educación del jefe de hogar y hogares sin acceso a agua potable ni cloacas se observa que la vulnerabilidad social está estrechamente relacionada a procesos históricos de segregación socioeconómica residencial de las ciudades más grandes de la cuenca, que son Mercedes, Luján, Pilar, Escobar y José C Paz y Malvinas Argentinas.

Se encuentra una relación muy estrecha entre niveles altos de analfabetismo, desempleo, hacinamiento crítico y acceso a servicios de agua potable y cloacas con los valores más altos de obtenidos en el índice de Riesgo. Consideramos así que estos son los indicadores más elocuentes para analizar este tipo de peligrosidades. En relación con el indicador de población de 0 a 14 años si bien observa una distribución espacial que se condice con los valores de índice de Riesgo alto y medio, la distribución de los valores más altos, se encuentran distribuidos también a lo largo de todo el partido en Malvinas Argentinas, José C Paz, Escobar y Pilar.

Por otra parte, se observan otros indicadores cuyo comportamiento espacial no se corresponde directamente con el comportamiento espacial presentado por los radios que muestran mayor índice de riesgo. El indicador de salud no se correlaciona espacialmente con la configuración territorial del riesgo analizado, debido a que los centros de salud suelen concentrarse en los centros urbanos donde hay concentración de servicios y disminuyen hacia las periferias urbanas. Tendencias espaciales similares se observan con el indicador de población mayor a 65 años, que tampoco presenta una correlación espacial directa con el riesgo de estudio, se observa una concentración de valores altos de este indicador principalmente en los centros urbanos. Finalmente, el indicador de hogares monoparentales tampoco responde a un patrón espacial que se condiga con el patrón presentado para los riesgos.

A partir de este análisis, se observa que, de la cartografía resultante del Índice de Riesgo para toda la cuenca, el comportamiento observado para siete indicadores señalados sobre los diez propuestos para caracterizar la Vulnerabilidad Social responden directamente a la configuración territorial del Riesgo de inundaciones, lo que confirma la centralidad del IVSD en el análisis del Riesgo.

Se debe aclarar que los indicadores trabajados proceden de la propuesta original del PIRNA para todo tipo de peligrosidades. Como se mencionó líneas atrás, algunos de ellos representan en forma clara la distribución espacial de la vulnerabilidad social. Sería una línea de trabajo interesante aplicar otro indicador como la Calidad Constructiva de Viviendas, debido a que a menor calidad constructiva la población es más vulnerable a un evento de inundación.

En cuanto al análisis de los indicadores este apartado aporta como novedad un análisis de vulnerabilidad social utilizando los indicadores propuestos por este marco teórico, procedente del PIRNA para la toda la cuenca de estudio. Hasta la fecha los trabajos realizados con estos mismos indicadores de esta propuesta teórico - metodológico fueron sólo para algunos partidos de la cuenca (Herrero A., Natenzon C., Miño M., 2018; Gatti I., 2020).

Los resultados del análisis de riesgo mediante superposición de mapas permitieron obtener un producto útil para la identificación de barrios y asentamientos con Riesgo Alto para todos los partidos que cubren la cuenca. Para el año 2020, se encontraron un total de 40 barrios con Riesgo Alto a sufrir estas catástrofes. La mayoría de estos son barrios RENABAP. Sin embargo, los resultados muestran algunos barrios que también poseen Riesgo Alto que no son barrios vulnerables. Barrio Álamo Alto, en Escobar, presenta riesgo alto, siendo un barrio cerrado lindante al río Luján. Sobre esto último es necesario aclarar las limitaciones del desarrollo metodológico

propuesto, para tener bien claros los resultados. El Riesgo del radio en el que está incluido el Barrio Álamo Alto, es alto, debido a que el IVSD del radio es alto y se encuentra cercano al rio. Esto sucede porque el radio censal incluye asentamientos altamente vulnerables, donde hay más hogares y más personas que ponderan los valores de los indicadores con el que se formuló índice de vulnerabilidad.

Finalmente, se ha evaluado la potencialidad de los recursos y herramientas libres que ofrece la Geomática para determinar las componentes del Riesgo de inundaciones del río Luján y el cálculo del mismo, facilitando un análisis relativamente rápido y accesible, en forma rigurosa por tratarse de un estudio a escala regional.

9. CONCLUSIONES

Este trabajo permitió reconocer las potencialidades de las herramientas y recursos libres que ofrece la Geomática para analizar el riesgo de inundaciones de la cuenca del río Luján. Específicamente permitió determinar mediante sus técnicas cada una de las componentes del riesgo según el marco conceptual abordado. Este tipo de trabajos tiene como finalidad colaborar con la toma de decisiones asertivas, mediante el uso de mapas como herramientas visuales. Se pretende ofrecer a la sociedad un análisis complementario a la lectura e interpretación de datos e identificar áreas prioritarias de intervención para gestionar el riesgo.

La disponibilidad de un programa libre y abierto como QGIS, permitió abordar desde los SIGs, y su cartografía resultante, cada una de las componentes abordadas del Riesgo. La disponibilidad de una comunidad geomática que continuamente participa en el uso, debate y mejora sobre las herramientas de este programa lo han constituido como uno de los más completos para abordar diferentes tipos de análisis y procesamientos, de naturaleza vectorial y raster. En este trabajo final se procesaron los dos tipos de datos con la rigurosidad necesaria para cumplimentar los objetivos propuestos.

El objetivo de determinar áreas de peligrosidad y exposición a las inundaciones en la cuenca de estudio se consiguió satisfactoriamente. Esto fue posible debido a la existencia de geodatos libres en la web. Entre ellos las bases vectoriales provistas por organismos oficiales (IGN, INDEC, Subsecretaria de Ambiente) así como las bases de imágenes satelitales. La disponibilidad de imágenes Landsat permitió cubrir el período de estudio 1999-2020. Por un lado, permitió recuperar imágenes con fechas cercanas a inundaciones significativas en condiciones óptimas de visibilidad, validando las áreas de anegamiento mediante el uso de índices como el MNDWI, y por otro lado, permitió estimar la presencia de asentamientos humanos a lo largo de toda la cuenca en el período de análisis.

Para cumplir con el objetivo de validar del área de peligrosidad propuesta por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Buenos Aires (SSRRHH-PBA) se desarrollaron tres mapas. Primero, el mapa de puntos inundables; segundo, el mapa de áreas cubiertas con agua, detectado mediante el índice MNDWI, y tercero, el mapa de áreas de humedad detectado mediante interpretación visual. Finalmente, mediante la superposición de estos tres mapas de validó el área de Peligrosidad propuesta por la provincia.

Las inundaciones vienen acompañadas de efectos atmosféricos como la nubosidad que limitan en muchas oportunidades el análisis mediante teledetección óptica de áreas anegadas o

húmedas. En este trabajo se logró identificar, para todo el período de estudio, pocas imágenes Landsat, aunque oportunas, para identificar áreas anegadas. Una opción para contrarrestar esta limitación podría ser es el uso de tecnología radar, lo que se considera una línea de trabajo futuro que complementen el actual, permitiendo así el monitoreo continuo y sin limitaciones de nubosidad de áreas inundadas, como SENTINEL-1, NISAR, TANDEM-L (NASA-ARSET, 2023).

Las imágenes satelitales Landsat también fueron fundamentales para analizar la Exposición. La determinación de estas áreas generó productos cartográficos que permitieron apreciar el crecimiento de las urbanizaciones a lo largo del tiempo. Si bien el análisis digital fue importante para este objetivo, la detección de una clase específica de cobertura se combinó con el análisis visual, este se constituyó en una parte fundamental del análisis. Fue importante el recurso de Google Earth Pro y su herramienta histórica, que facilitó la interpretación y enriqueció la delimitación de los conjuntos constructivos de los asentamientos humanos en toda la cuenca, desde el 1999. La detección de la mancha urbana entre 1999 y 2000 se nutrió de un esfuerzo de interpretación visual superior por contar sólo con la imagen LANDSAT 5.

Una observación pertinente en el proceso de detección y digitalización de los perímetros urbanos entre 1999 hasta 2020 ha sido la densificación observada dentro de estos, amén de que también se han expandido los límites de los asentamientos.

El objetivo de establecer mediante mapeos el IVSD se logró utilizando datos y geodatos provistos por el INDEC para censo 2022. Del procesamiento de estos datos se obtuvieron un total de 22 mapas: 10 mapas de indicadores absolutos, 9 de indicadores relativos, 1 mapa del IVSD con valores absolutos, 1 mapa IVSD con valores relativos y 1 mapa con el IVSD Síntesis. Los resultados obtenidos en el mapa fueron a nivel radio censal, lo que permitió llegar a un nivel de comprensión del territorio lo suficientemente detallado si consideramos que el objetivo de análisis es a escala regional.

Los mapas resultantes de la mayoría de los indicadores, muestran una distribución espacial donde se observan que los valores más altos de esos indicadores se corresponden con las proximidades al área de peligrosidad. Se concluye que se han desarrollado procesos históricos de segregación espacial de la población sobre toda la cuenca. De esta manera los índices resultantes se configuran la dimensión más importante dentro del análisis de riesgo.

Finalmente, el objetivo de determinar el riesgo se consiguió mediante la superposición temática, permitiendo reconocer las áreas con mayor riesgo de inundaciones a lo largo de toda la zona de

estudio. El resultado cartográfico se considera un aporte importante para reconocer áreas prioritarias a atender ante un evento de inundaciones.

El producto se corresponde a un resultado con fecha límite de análisis 2020, por esa razón se superponen los barrios populares delimitados por el RENABAP para ese año. Se reconocen así los barrios con más alto riesgo ante este tipo de peligrosidades.

Como trabajo de aplicación se pretende mostrar la utilidad de una metodología de análisis para este tipo de riesgos, considerando al mismo replicable ante la disponibilidad de nuevos datos actualizados tanto de RENABAP como de la población expuesta.

Se debe mencionar que a la fecha en que este trabajo es presentado, se están llevando a cabo obras sobre la cuenca media a la altura del partido de Luján, como parte del Plan de Manejo Integral de la Cuenca del Río Luján - Etapa II, (Gobierno de la Provincia de Bueno Aires, 2024) como la construcción de un muro de contención, que reduciría el riesgo de inundaciones, así como también se proyecta construir un paseo ribereño aprovechando el valor paisajístico.

En vistas de estas modificaciones se recomienda retomar este análisis tras la finalización de las obras y analizar la mejora en la gestión del riesgo producto de esta intervención. Replicar la metodología implementada permitirá analizar los beneficios de la obra, amén de las limitaciones metodológicas que, reconocidas y contempladas, permitan avanzar con el análisis riguroso del Riesgo a lo largo de la cuenca. Los resultados obtenidos en este trabajo se conforman en una herramienta útil para ser considerado en la gestión de riesgos de desastres antes que del manejo del mismo.

Este trabajo muestra el universo de posibilidades del análisis del riesgo utilizando recursos libres. Desde reportes periodísticos, redes sociales oficiales, bibliotecas públicas digitales, hasta bancos de geodatos institucionales, como todas las coberturas vectoriales de naturaleza libre aptas para ser utilizadas como datos básicos y fundamentales necesarios para armar una base de geográfica sólida con el fin de avanzar en el estudio de la cuenca. Por su parte, los geodatos de naturaleza raster, como las imágenes satelitales y los modelos de terreno también se encuentran disponibles en forma libre en la Web. Su disponibilidad ha sido fundamental en este tipo de estudios de aproximación al terreno, ofreciendo sobre todo un nivel alto en la calidad de la información que proporcionan esos productos.

Se debe destacar el momento histórico en el cual se circunscribe el presente trabajo, donde la alta disponibilidad de software libre permite que estas tecnologías lleguen a usuarios e

instituciones con recursos limitados para la investigación, pero con el suficiente conocimiento para poner los geodatos a disposición de la formulación de información decisiva para distintos organismos tomadores de decisiones.

En síntesis, los recursos libres y gratuitos que ofrece la geomática, como los geodatos y el software abierto han permitido el abordaje de una problemática ambiental en una cuenca hidrológica con dimensiones extensas a costos bajos. Por lo que se destacan como herramientas útiles para la planificación regional sin acceder a instrumental y datos para los que los organismos de decisión necesiten alto financiamiento. Sin embargo, se considera que el principal capital que se valora en el desarrollo de estas políticas seguirá siendo la inversión en conocimiento y educación en el ambiente académico, institución que siempre dará respaldo riguroso a toda política pública necesaria para una sociedad ambientalmente sostenible y equitativa.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte de un camino entusiasta por el mundo de la geomática, debo agradecer a todos los que invitaron y contagiaron la pasión por esta disciplina, la lista sería gratamente larga.

En el recorrido puntual de este trabajo debo agradecer a todos lo que posibilitaron que cursara en la ciudad de Diamante, a casi 500 km de mi hogar. Mi mamá Alicia, y mi hermana Karina, acompañándome con un bebe de 2 meses en adelante a cursar durante largas horas en otra ciudad, a mi papá Abrahan que mientras estaba en este plano siempre apoyó nuestro estudio y en el contexto de la Maestría lo hizo cuidando con amor de mi hijo para posibilitar el curso. Sin ellos la maestría no hubiese prosperado. Les estoy y les estaré profundamente agradecido toda la vida.

En el plano académico agradezco a mi director, Ricardo Castro, que en este recorrido largo siempre se hizo el tiempo de leer y releer los proyectos y cada parte del trabajo, mostrando siempre la mejor predisposición. Sus observaciones, sus aclaraciones, sirvieron muchísimo para mejorar el trabajo y los intercambios se constituyeron en un entorno de aprendizaje sumamente importante. A mi co-director, Ignacio Gatti, que me acompaño los últimos años empujando la finalización de la Maestría acercándome material y consejos, aparte de dedicar varias horas de lectura y observaciones a este trabajo.

Agradezco a mis compañeras de la Facultad de Filosofía y Letras de la UBA, a Paula Martín, Elvira Gentile y Mariana Gasparotto, que en los proyectos de investigación que hemos trabajado en el marco del PIRNA me enseñaron a investigar cual oficio se aprende con la práctica. Gracias por las observaciones, por la exigencia y la templanza en estos años de trabajo conjunto.

Gracias a la empresa AySA que me han becado esta maestría con el objeto de mejorar la calidad de sus recursos humanos para el manejo de datos espaciales.

Gracias a la educación pública gratuita y de calidad, ya que sin ella no habría accedido a los mejores docentes del campo de la geografía y de la geomática que nuestro país puede dar.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso Fernandez Copel,I. y Herrero Llorente, E. (2001). El Satélite Landsat. Análisis visual de imágenes. Universidad de Valladolid. Recuperado el 1 de noviembre de 2023 de: https://es.scribd.com/doc/223461009/Analisis-Visual-Imagenes-Landsat.
- Anabella Le Pera (2015). Barrios caros, Suelos baratos: Inundaciones en los humedales de cuenca baja del río Luján. XI Jornadas de Sociología. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Andrade, M. I. Et. Al (1986). Factores de deterioro ambiental en la Cuenca del río Luján. Serie Contribuciones. Instituto de Geografía. Repositorio REDIUNLu. Recuperado el 20 de abril 2023 de https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/376
- Aneas de Castro, S. D. (2000). Riesgos y peligros: una visión desde la geografía. Scripta Nova (n.º 60). Recuperado el 10 de diciembre de 2024 de http://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm
- Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires. (s.f.). Mapas de peligrosidad - Luján. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Recuperado el 5 de agosto 2024, de https://riesgohidrico.ada.gba.gov.ar/inicio/mapas-de-peligrosidad-lujan/
- Beck, U. (1992). La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad. Ed. Paidós, Barcelona.
- Bleda, J. G. C. (1997). Problemática en la clasificación de imágenes de satélite Landsat. Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete, (12), 319-330.
- Brown A. y Pacheco S. (2006). Propuesta de actualización del mapa ecorregional de Argentina. En: Brown, A., Martínez Ortiz, U, Acerbi, M. y Corcuera, J. La Situación Ambiental Argentina 2005, FVSA, pp. 25-27, Buenos Aires.
- Bustamante, J., Díaz Delgado, R., Aragonés, D. (2005). Determinación de las características de masas de aguas someras en las marismas de Doñana mediante teledetección. Revista de Teledetección, 24(1), 107–111. Recuperado el 7 de noviembre de 2023 de: https://digital.csic.es/bitstream/10261/60245/1/AET24-19.pdf.
- Buzzai, G y Lanzelotti S. (2023). Análisis espacial y evaluación de zonas de potenciales conflictos ambientales, productivos y patrimoniales ante la expansión urbana en la cuenca del Rio Lujan. En E. Craig (Comp.), Estudios de la cuenca del río Luján: distintas miradas desde la Universidad Nacional de Luján (pp. 129–140). EdUNLu.
- Buzzai, G. (2023). Diagnostico socio-habitacional de la cuenca del río lujan, 2010 (Provincia de Buenos Aires) basado en el análisis espacial con Sistemas de Información

Geográfica. En E. Craig (Comp.), Estudios de la cuenca del río Luján: distintas miradas desde la Universidad Nacional de Luján (pp. 103–114). EdUNLu.

- Calvo, A. (2013). Catástrofes, instituciones y gestión pública: El caso de las inundaciones en la ciudad de Santa Fe en el 2003. Tesis de licenciatura. San Martín (Buenos Aires): Universidad Nacional General San Martín
- Carballo, C. y Goldberg, S. (2014). Comunidad e información ambiental del riesgo. Las inundaciones y el río Luján. Editorial Dunken.
- Cardona, O. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo: Elementos para el Ordenamiento y la Planeación del Desarrollo. Recuperado el 21 de diciembre de 2023 de http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap3.htm.
- Chavez, P. S. Jr. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. Remote Sensing of Environment, 24(3), 459–479. https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3
- Chuvieco Salinero, E. (1996). Fundamentos de Teledetección Espacial. Ediciones Rialp.
- Chuvieco Salinero, E. (2010). Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Ariel Ciencia.
- Comité de Cuenca del Río Luján (COMILU) (2023), Avances en el Análisis del Riesgo ante Inundaciones, Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos de la provincia de Buenos Aires, Subsecretaría de Recursos Hídricos; Buenos Aires, Argentina. Recuperado el 24 de noviembre de 2024 de https://drive.google.com/file/d/1lMvaFGBVH-RkSWRMb5odsBmAX_JGjVGz/view.
- Congalton, R. (1991) A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment 37, 35–46.
- Conglaton, R .(2001) Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information. Recuperado el 22 de junio de 2025 de https://www.researchgate.net/publication/220040678_Accuracy_assessment_and_validation_of_remotely_sensed_and_other_spatial_information.
- Criag, E. (2023). Estudios de la Cuenca del Río Luján. Luján: EdUNLU.
- De Carvalho, O. A., y Meneses, P. R. (2000, February). Spectral correlation mapper (SCM): an improvement on the spectral angle mapper (SAM). In Summaries of the 9th JPL Airborne Earth Science Workshop, JPL Publication 00-18 (Vol. 9, p. 2). Pasadena, CA, USA: JPL publication.

- Denegri, M. J.; Rivero, L. M.; Minvielle, E. y Jara, S. (2023). Notas sobre el clima en la cuenca media del río Luján. En E. Craig (Comp.), Estudios de la cuenca del río Luján: distintas miradas desde la Universidad Nacional de Luján (pp. 175–186). EdUNLu.
- Di Franco, L. (2018). Manejo integral de la cuenca hidrográfica del río Luján basado en Geomática (Tesis doctoral, Universidad Nacional de Luján). Recuperado el 9 de febrero de 2022 de: https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/976.
- Dirección Nacional de Emergencias – SINAE. (2022). Apéndice 7 – Índice de Vulnerabilidad Social frente a Desastres. Consultoría PNUD-Sinae. Recuperado el 6 de agosto de 2025 de https://www.gub.uy/sistema-nacional-emergencias/sites/sistema-nacional-emergencias/files/documentos/publicaciones/Ap%C3%A9ndice%207.pdf
- Fernández Coppel, I., y Herrero Llorente, E. (2001). El satélite Landsat. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ satélite Landsat. Valladolid, España: Universidad de Vallado. Recuperado el 07 de noviembre de 2021 de: https://www.cartesia.org/data/apuntes/teledeteccion/landsat-analisis-visual.pdf
- García Rodríguez, M. P., y Pérez González, M. E. (2014). Análisis multitemporal del urbanismo expansivo en el corredor del Henares. Aportación de las imágenes de satélite. En Estudios Geográficos, 75(277), 597–618. https://doi.org/10.3989/estgeogr.201419
- Gatti, I. (2020). Disaster risk assessment for urban areas: A GIS flood risk analysis for Luján City (Argentina). Tesis de Maestría, Universidad de Tokio, Tokio.
- Giddens, A. (1994). Consecuencias de la modernidad. Ed. Alianza. Madrid.
- Gobierno de la Provincia de Buenos Aires (2024). Mapas de peligrosidades del ComiLu. Recuperado el 21 de noviembre de 2024 de: https://riesgohidrico.ada.gba.gov.ar/inicio/mapas-de-peligrosidad-lujan/.
- Gobierno de la Provincia de Buenos Aires (2021). Análisis de inundaciones de la Provincia. Recuperado el 1 de septiembre de 2021 de https://www.gba.gob.ar/hidraulica/conurbano_y_area_metropolitana/cuenca_rio_lujan.
- Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, Subsecretaría de Recursos Hídricos del Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos. (2024). Adecuación del cauce del tramo medio río Luján – Etapa II A (Lotes 1–4) y II B (Lote 1). Recuperado el 16 de julio de 2025 de: https://www.ambiente.gba.gob.ar/sites/default/files/PCAbstract/PC_Mejoramiento%20del%20Tramo%20Medio%20del%20R%C3%ADo%20Luj%C3%A1n%201.pdf
- Gobierno de lujan https://lujan.gob.ar/?q=content/rio-lujan-comenzo-la-construccion-del-muro-contencion-para-mitigar-desbordes

- Goldwaser, B.; Soria L. y Chiasso C. (2023). Microgeografías y dinámica territorial en la Cuenca del Río Luján. Un espejo de la realidad. Estudios de caso. En E. Craig (Comp.), Estudios de la cuenca del río Luján: distintas miradas desde la Universidad Nacional de Luján (pp. 337–348). EdUNLu.
- González, S. (2009). Ciudad visible vs. Ciudad invisible. Gestión urbana y manejo de inundaciones en la baja cuenca del arroyo Maldonado (Ciudad de Buenos Aires). Tesis de Doctorado en Geografía, Universidad de Buenos Aires.
- González, S. y Natenzon, C. (2002): Cuenca hidrográfico y riesgo ambiental. Dos estrategias de resolución de la incertidumbre. Presentación a la Mesa Redonda: “uenca hidrográfica y riesgo ambiental en IX Jornadas Cuyanas de Geografía. Mendoza, octubre de 2002.
- Goñi, L., Gregorini, G., Aldalur, B. (2016). Análisis del crecimiento edilicio mediante imágenes Landsat en la localidad de monte Hermoso Argentina. Recuperado el 1 de marzo de 2022 de: http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/otragr/index/assoc/HASH0127/50d941b4.dir/doc.pdf.
- Google Earth Pro (versión 7.3.6). (2024). Google Earth Pro [Software de computadora]. Google. https://www.google.com/earth/
- GSFC (2019). Observando la Tierra con Satélites Landsat desde 1972. Recuperado el 6 de marzo de 2022 de: https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2019/09/2019ESW-poster_16x24_05-08_MTedit2en_SP.pdf.
- Hay, A. (1979). Sampling designs to test land use map accuracy. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Vol. 45, No.4, pp. 529-533.
- Herrero, A. C., Natenzon, C. E., y Miño, M. L. (2018). Vulnerabilidad social, amenazas y riesgos frente al cambio climático en el Aglomerado Gran Buenos Aires (Documento de Trabajo No. 172). CIPPEC. Recuperado el 6 de agosto de 2025 de https://www.cippec.org/wp-content/uploads/2018/10/DT-172-CDS-Vulnerabilidad-social-amenazas-y-riesgos-frente-al-cambio-climático-Herrero-Natenzon-Miño-septiembre-2018.pdf
- Herzer, H. M. (2011). Construcción del riesgo, desastre y gestión ambiental urbana: Perspectivas en debate. Mundo Urbano. Recuperado el 10 de noviembre de 2024 de http://www.mundourbano.unq.edu.ar/index.php/ano-2015/81-numero-45/257-articulo-hilda

- Humacata, L.; Lara, B.; Beltrán González, C.; Cantarelo, C. et al. (2019). Análisis espacial de cambios de usos del suelo en la cuenca del río Luján, en el período 1990-2010. Perspectiva inicial y aplicación geotecnológica. Universidad Nacional de Luján. Recuperado el 11 de noviembre de 2021 de http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/643
- Instituto Geográfico Nacional. (2019). Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina a 45 metros (MDE-Ar 45 m). Recuperado el 29 de agosto de 2023 de: https://www.ign.gob.ar/archivos/Informe_MDE-Ar_45m.pdf
- Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina (MDE-Ar) [Conjunto de datos]. Recuperado el 29 de agosto de 2023 de: https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Mapa
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). (2024) Región Metropolitana Buenos Aires: Ciudad Autónoma de Buenos Aires y 39 partidos de la provincia de Buenos Aires. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022. 1a ed - Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Recuperado el 3 de enero de 2025 de: https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/poblacion/censo2022_rmba.pdf.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). (2024). Base de datos del Censo Nacional 2010 – REDATAM [Base de datos estadística]. Recuperado el 30 de octubre 2025 de https://redatam.indec.gob.ar/
- Instituto Nacional del Agua (INA) (2007). Diagnóstico del funcionamiento Hidrológico-Hidráulico de la Cuenca del Río Luján - Provincia de Buenos Aires - Argentina, INFORME LHA 284-01-2007, Buenos Aires, Argentina, 128p.
- Instituto Nacional del Agua (INA) (2015). Estudio de Inundabilidad – Conurbano Bonaerense. Cap. 6 Cuenca del Río Luján, Subsecretaria de Recursos Hídricos, Instituto Nacional del Agua, Buenos Aires, Argentina, 76p.
- Ji, L., Zhang, L., & Wylie, B. (2009). Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 75(11), 1307–1317. https://doi.org/10.14358/PERS.75.11.1307
- Lavell, A. (2001). Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacía una Definición. Recuperado el 10 de diciembre de 2024 de: https://desastres.unanleon.edu.ni/pdf/2004/mayo/PDF/SPA/DOC15036/doc15036-contenido.pdf.
- Maskrey, A., 1993 (Ed). Los desastres no son naturales LA RED de estudios sociales Primero edicion 167 pp- Bogotá- Colombia. Recuperado el 10 de diciembre de 2024 de:

https://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf.

- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 17(7), 1425–1432. https://doi.org/10.1080/01431169608948714
- Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires, Subsecretaría de Planificación Estratégica en Salud, Dirección Provincial de Estadística y Salud Digital. (2022). Establecimientos de salud públicos [Base de datos]. Datos Abiertos de la Provincia de Buenos Aires. Recuperado el 16 de julio de 2022 de https://catalogo.datos.gba.gob.ar/dataset/establecimientos-salud
- Miño, M. (2006). Identificación y evaluación del riesgo hídrico poblacional frente a la problemática de las inundaciones en el Partido Del Pilar, Provincia de Buenos Aires. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional General Sarmiento.
- Molero, V., Pereyra, F., Marcomini, S. (2022). Análisis de las inundaciones en la cuenca superior y media del río Luján, provincia de Buenos Aires. Revista De Geología Aplicada a La Ingeniería y Al Ambiente, 49, 15-28. Recuperado el 24 de noviembre de 2024 de: https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revista-asagai/article/view/46129/46306.
- Municipalidad de Luján. (2024). El Municipio de Luján invita al Festival Rumbo a los 400 Años. Recuperado el 7 de agosto de 2025, de https://www.lujan.gob.ar/?q=content/el-municipio-lujan-invita-al-festival-rumbo-los-400-anos
- Murgida, A. M. y Gasparotto, M. (2015). Percepción del riesgo y sistemas participativos de alerta temprana en Iruya, provincia de Salta. En: Natenzon, C. y Ríos, D. (Eds.) Riesgos, catástrofes y vulnerabilidades. Aportes desde la geografía y otras ciencias sociales para casos argentinos, Imago Mundi, Buenos Aires.
- Natenzon, C. (1995). Catástrofes naturales, riesgo e incertidumbre. En: Serie de Documentos e Informes de Investigación. Nro. 197. Diciembre. FLACSO. Recuperado el 10 de diciembre de 2024 de: https://www.gub.uy/sistema-nacional-emergencias/sites/sistema-nacional-emergencias/files/documentos/publicaciones/PUB-Natenzon-Catastrofes-naturales-riesgo-e-incertidumbre.pdf.
- Natenzon, C. (2013). Riesgo social, vulnerabilidad y adaptación. Taller: Integración de conocimientos para la adaptación al cambio global: principios y herramientas. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI). Recuperado el 6 de agosto de 2025 de https://www.iai.int/admin/site/sites/default/files/uploads/sites/2/RIESGO-SOCIAL-VULNERABILIDAD-Y-ADAPTACION-Natenzon.pdf

- Natenzon, C. (2016): Proyecto UBACYT-PDTS-PF01,2013-2015: Pensando en el futuro, actuando hoy: el uso de información sobre vulnerabilidad social para la gestión de riesgo de desastres. Inédito
- Natenzon, C. (2019). Riesgo social y vulnerabilidad climática. Foro sobre Mitigación de Eutofización y taller sobre Cianobacterias. Recuperado el 13 de noviembre de 2023 de: https://www.saltogrande.org/jece/presentaciones/06-Presentaci%C3%B3n_Natenzon_CTM%20SALTO%20GRANDE.pdf.
- Natenzon, C. y Ríos, D. (2015). Riesgos, catástrofes y vulnerabilidades. Aportes desde la geografía y otras ciencias sociales para casos argentinos. Ediciones Imago Mundi: Buenos Aires, Argentina.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2023). SAR 2023, Parte 3: SAR para la Detección y el Monitoreo de Inundaciones, el Hielo Marino y la Subsidencia del Suelo por la Extracción de Agua. NASA Applied Remote Sensing Training Program (ARSET). Recuperado el 9 de enero de 2025 de: https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2023-11/SAR_2023_Part3_Spanish.pdf
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR), (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Recuperado el 21 de diciembre de 2024 de: https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf.
- Organización de Estado Americanos (OEA) (1993) Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado. Recuperado el 10 de diciembre de 2023 de: https://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/begin.htm.
- Petropoulos, G. P., Vadrevu, K. P., Xanthopoulos, G., Karantounias, G., & Scholze, M. (2010). A Comparison of Spectral Angle Mapper and Artificial Neural Network Classifiers Combined with Landsat TM Imagery Analysis for Obtaining Burnt Area Mapping. Sensors, 10(3), 1967-1985. https://doi.org/10.3390/s100301967
- Picone, N. (2017). Comparación de imágenes satelitales Sentinel-2 y Landsat 8 en el estudio de áreas urbanas. Congreso sobre Teledetección y Urbanismo. Recuperado el 6 de agosto de 2025 de https://www.researchgate.net/publication/320705706_COMPARACION_DE_IMAGENES_SATELITALES_SENTINEL_2_Y_LANDSAT_8_EN_EL_ESTUDIO_DE_AREAS_URBANAS

- Picone, N., y Linares, S. (2014). Propuesta metodológica para la extracción y análisis de densidades urbanas mediante teledetección y SIG: Caso de estudio: ciudad de Tandil, Argentina. Revista Universitaria de Geografía, 23(2), 77–96. Universidad Nacional del Sur. Recuperado el 6 de agosto de 2025 de http://hdl.handle.net/11336/10191
- Pinilla Ruiz, C. (2020). Teledetección: Teoría y aplicaciones. Recuperado el 6 de agosto de 2025 de: https://archive.org/details/teledeteccion
- Pintos, P. y Narodowski, P. (Coords.). (2012). La privatopía sacrílega: Efectos del urbanismo privado en humedales de la cuenca baja del río Luján. Imago Mundi. (Bitácora argentina). Recuperado el 15 de noviembre de 2024 de https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/libros/pm.796/pm.796.pdf
- Presidente de la Nación Argentina (2017). Decreto N° 358/2017: Crea el Registro Nacional de Barrios Populares en Proceso de Integración Urbana (RENABAP). Boletín Oficial de la República Argentina. Recuperado 8 de enero de 2025 de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/decreto_358_2017.pdf
- Principi, N. (2021). Análisis socioespacial y modelización prospectiva del contexto de riesgo por inundaciones en la ciudad de Luján (Buenos Aires, Argentina) 2010-2030. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Sur. Recuperado el 09 de septiembre de 2023 de: http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652021001100110&lng=en&nrm=iso&tlng=en.
- Principi, N. (2023). Simulación del nivel de agua para escenarios de inundación. Aplicación a Luján (Buenos Aires, Argentina). Boletín Geográfico, 45(PC). Recuperado el 24 de noviembre de 2024 de: https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/geografia/article/view/4585/61862.
- QGIS Development Team. (s/f). QGIS Geographic Information System (versión 3.28) [Software de sistema de información geográfica]. Open Source Geospatial Foundation. Disponible en: https://qgis.org/
- R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing [Software]. R Foundation for Statistical Computing. Disponible en https://www.r-project.org/
- Renda, E. L. (Coord.), Rozas Garay, M., Moscardini, O., y Torchia, N. P. (2017). Manual para la elaboración de mapas de riesgo (1.ª ed.). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Ministerio de Seguridad de la Nación, Argentina. Recuperado el 10 de diciembre de https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/Manual-elaboracion-mapas-riesgo.pdf

- Reyna, J., Spalletti, P., Brea, J.D. (2007). Riesgo de inundaciones en el Río Lujan. Presentado en el Tercer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Córdoba, Argentina, p. 13. Recuperado el 21 de noviembre de 2024 de: https://repositorio.ina.gob.ar/server/api/core/bitstreams/9eea5ff7-a948-4bd3-bc90-86592bcaeec7/content.
- Riaño, O. (2002). Consideraciones y métodos para la detección de cambios empleando imágenes de satélite en el municipio de Paipa. Colombia forestal, 7(15), 41-62. Recuperado el 02 de noviembre de 2021 de: Disponible en: https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/3306.
- Ríos, D. (2010). Producción de espacio de riesgo de desastres a partir de la urbanización de áreas inundables. Los bañados de Tigre, su historia y sus transformaciones recientes. Tesis de doctorado en Geografía, Universidad de Buenos Aires.
- Rodríguez, A., Ruggerio, C., Fernández, L. (s.f). Blanco sobre negro. Actividades productivas en la cuenca biandel río Luján: Su impacto sobre el agua. Universidad Nacional de General Sarmiento. Proyecto PICT-ANPCyT, N.º 20417. CDI, Ministerio de Economía de Argentina. Recuperado 9 de enero de 2025 de https://cdi.mecon.gob.ar/bases/docelec/az2937.pdf
- Rosell, A. y Vicente, M. (2016), Análisis del crecimiento demográfico y la relación entre espacio verdes y edificados en Darregueira con QGIS. DOI: 10.13140/RG.2.1.2863.7687
- Ruiz Rivera, N., Castro-Díaz, R., Trejo Albuerne, A. L., & Natenzon, C. E. (2025, agosto). La construcción de índices de vulnerabilidad social. Ejemplos y procedimientos aplicados a los casos de México y Argentina. Investigaciones Geográficas, Núm. 117. https://doi.org/10.14350/rig.61052
- Salas Pérez, C., Coy Castro, D., Acuña Ramírez, K., Páez Cuervo, L., & Upegui, E. (2019). Crecimiento urbano e impermeabilización del suelo alrededor de la Reserva Forestal Thomas van der Hammen, en la ciudad de Bogotá. En Ambiente y Desarrollo, 23(44). https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd23-44.cuis
- Sanchez Caro, A. y Bianchi, J. (2014). Modelación hidrológica a paso diario de la cuenca de río Luján, Provincia de Buenos Aires. Actas del IIdo Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos. Recuperado el 22 de agosto de 2023 de: https://www.ina.gob.ar/ifrh-2014/Eje3/3.40.pdf
- Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2015). Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones

Unidas Sobre El Cambio Climático. Recuperado el 3 de marzo de 2025 de: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Argnc3.pdf.

- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). (2018). Mosaico del territorio mexicano del año 2000 y 2018. Recuperado el 21 de enero de 2025 https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/412978/P2_201_LANDSAT_2000_2018_web.pdf
- Secretaría de Industria y Desarrollo Productivo. (2023). Distribución geográfica de los establecimientos productivos [Conjunto de datos]. Plataforma Nacional de Datos Públicos. Recuperado el 10 de agosto de 2024 de https://datos.gob.ar/dataset/produccion-distribucion-geografica-establecimientos-productivos
- Servicio Meteorológico Nacional. (s.f.). Estadísticas climatológicas normales. Recuperado el 2 de agosto de 2024, de https://www.smn.gob.ar/estadisticas
- Silva Busso, A. (2010). Geología, hidrología e hidrogeología en la cuenca del río Luján, en Carballo, C. (Ed.). Información Ambiental de la cuenca del río Luján. Aportes para la gestión integral del agua. Buenos Aires, Ediciones Prometeo, pág.: 97-122.
- Strahler, A. N., y Strahler, A. H. (1994). Geografía física (3.ª ed.). Barcelona: Omega.
- Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Buenos Aires. Atlas. Cuencas y regiones hídricas ambientales de la Provincia de Buenos Aires. Recuperado el 22 de agosto de 2023 de: https://www.minfra.gba.gov.ar/web/Hidraulica/Atlas.pdf
- Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Buenos Aires (2023). Mapas de peligrosidad Luján. Recuperado el 08 de septiembre de 2023 de: https://rh-pba.com.ar/inicio/mapas-de-peligrosidad-lujan/
- U.S. Geological Survey. (2023). EarthExplorer. Recuperado el 9 de noviembre de 2023 de https://earthexplorer.usgs.gov/
- U.S.Geological Survey (2021a). Landsat 4-7 Collection 2 (C2) Level 2 Science Product (L2SP) Guide. Recuperado el 05 de octubre de 2021 de https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1618_Landsat-4-7_Collection2_Level-2-Science-Product_Guide-v4.pdf
- U.S.Geological Survey (2021b). Landsat 8 Collection 2 (C2) Level 2 Science Product (L2SP) Guide. Recuperado el 07 de octubre de 2021 de:https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1619_Landsat-8-Collection2_Level-2_Science-Product-Guide-v3.pdf.

- Valverde, Alejandra (2017). Inundaciones, vulnerabilidad social en la gestión del riesgo: la cuenca superior del río Luján como caso de estudio (Bs. As., Argentina). Recuperado el 24 de noviembre de 2021 de https://redargentinadegeografiafisica.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/11/eje7_valverde-alejandra.pdf
- Viand, J.; A. Calvo y C. Natenzon (2009). Gestión local del riesgo, adaptación a la dinámica del clima y prevención de desastres. El caso de Santa Fe. En: Estrategias Integradas de Adaptación y Mitigación a Cambios Globales. Buenos Aires: PIUBACC y CYTED. Recuperado el 2 de marzo de 2025 de https://repositoriouba.sisbi.uba.ar/gsdl/collect/libuba/index/assoc/HWA_5010.dir/5010.PDF.
- Wilches-Chaux, G. (1993). La vulnerabilidad global. En Andrew Maskrey (Comp.) Los Desastres no son naturales. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Bogotá, Colombia: LA RED Tercer Mundo Editores. Versión web. Recuperado el 21 de diciembre de 2024 de: https://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/
- Xu, H. (2006). Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. International Journal of Remote Sensing, 27, 3025-3033. http://dx.doi.org/10.1080/01431160600589179
- Zilio, M. y D´Amico. Teoría Social del Riesgo: de la ira divina a la explicación ambiental. Recuperado el 21 de diciembre de 2024 de: https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/libros/pm.5645/pm.5645.pdf.

11. ANEXO

Anexo 1. Relevamiento periodístico. Eventos de inundación.

Fecha	Partido	Calles/Barrio	Fuente	Medio
11/04/2014	Campana	Estación Río Luján	https://www.laizquierdadiario.com/Otra	La Izquierda Diario
2/10/2013	Escobar	Loma Verde	https://escobarnorte.com/2013/02/01/arboles-peligrosos/	Escobar Norte
27/2/2015	Escobar	Ingeniero Maschwitz	https://www.lanacion.com.ar/buenos-aires/lluvias-sudestada-y-vecinos-evacuados-nid1771778/	La Nación
28/2/2015	Escobar	Ciudad de Escobar	http://semanario-regional.com.ar/inundaciones-en-escobar/	Semanario Regional
25/3/2015	Escobar	Centro de Belén de Escobar. Barrios Stone, San Luis, La Chechela, Saboya, Itatí y Amancay. Esquina de Gelves y Don Bosco	https://www.dia32.com.ar/nos-tapo-el-agua/	Día 32
26/4/2015	Escobar	Barrio San Luis	https://puntaquerandi.com/2016/04/26/el-barrio-san-luis-quedo-en-un-nivel-muy-bajo-estamos-rodeados-de-countries/	Punta Querandí
21/2/2018	Escobar	Garín, Ingeniero Maschwitz y Maquinista Savio.	https://eldiadeescobar.com.ar/veinte-familias-escobarenses-fueron-evacuadas-a-causa-de-la-tormenta/	El día de Escobar
6/10/2018	Escobar	Barrio Nuevo Amancay, desde la calle Congreve hasta Los Aromos, pasando por Los Cerros	https://www.dia32.com.ar/el-drama-del-agua/	Dia 32
18/12/2018	Escobar	Belen de Escobar: agua acumulada en las arterias Alberdi, Independencia y Colectora Este. Estrada al 1700. Loma verdes: calle Congreve desde Tatán hasta Los Cerros, y los Tilos. Barrio Amad, Barrio Pte. Perón: calle Constituyentes.	https://www.eldiariodeescobar.com.ar/indignacion-por-barrios-piscinas-arroyos-desbordados-y-calles-lagunas/	El diario de Escobar

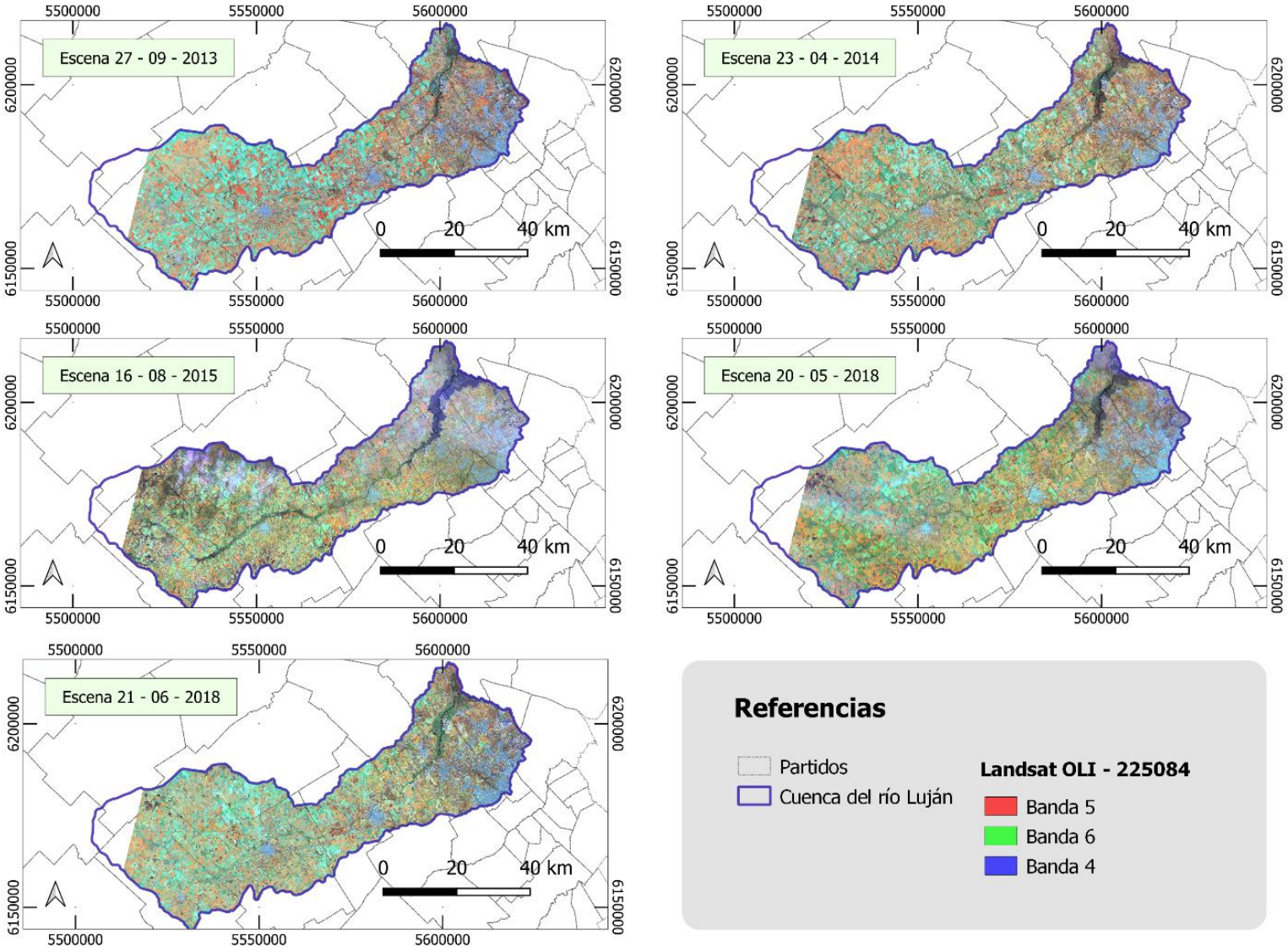
13/2/2021	Escobar	Barrio Villa Alegre	https://escobaradiario.com.ar/interes-general/calles-anegadas-tras-las-intensas-lluvias/	Escobar Diario
26/4/2016	Escobar	Barrio San Luis	https://puntaquerandi.com/2016/04/26/el-barrio-san-luis-quedo-	Punta Querandí
1/10/1991	Luján	Calle Fray Manuel de Torres	https://www.elcivismo.com.ar/notas/14429/	El Civismo
4/8/1995	Luján	Barrios La Loma, Santa Marta, San Jorge, San Fermín, Padre Varela, San Antonio, San Emilio y Los Gallitos.	https://www.elcivismo.com.ar/notas/14429/	El Civismo
3/3/2001	Luján	Barrio Ameghino	https://www.elcivismo.com.ar/notas/14429/	El Civismo
2/1/2003	Luján	Barrio El Ceibo	https://www.elcivismo.com.ar/notas/14429/	El Civismo
15/1/2006	Luján	Ciudad de Luján	https://www.elcivismo.com.ar/notas/14429/	El Civismo
11/1/2012	Luján	Barrio La Loma.Zona basílica	https://www.infobae.com/2012/11/01/679064-lujan-hay-mas-400-evacuados-la-crecida-y-el-agua-ya-llego-la-basilica/	Infobae
11/1/2012	Luján	Barrio Padre Varela. Puentes urbanos que pasan sobre el río Luján: los de la calle Almirante Brown, Bartolomé Mitre y Muñiz.	https://www.laprensa.com.ar/La-Basilica-de-Lujan-amenazada-por-el-crecimiento-del-rio-398278.note.aspx	La Prensa
31/10/2012	Luján	Club el Timón	https://www.youtube.com/watch?v=tIXBkfB_RwU	ParesTV
11/4/2014	Luján	Casco urbano. Zona basilica. Pueblo de Jáuregui, Pueblo Nuevo y Olivera. Barrios de Las Lomas, Pedro Varela y Los Olmos.	https://www.clarin.com/sociedad/lujan	Clarín
2/7/2014	Luján	Ciudad de Luján. Zona basilica.	https://www.clarin.com/sociedad/tormenta-desbordo-lujan-llego-basilica_0_H1vPUp1jwXx.html	Clarín
4/11/2014	Luján	Paseo de los Peregrinos. Zona. Los barrios San Fermín, Carlos Varela, La Loma, Santa Marta, El	https://www.telam.com.ar/notas/201404/59095-mas-de-100-evacuados-por-la-crecida-del-rio-	Telam

		Ceibo, Perea y el pueblo de Olivera	lujan-que-llego-a-los-437-metros.html	
8/12/2015	Luján	Casco urbano. Zona basilica. Complejo Museo Enrique Udaondo. Pueblo de San Fermín, La Loma, Olivera, Pueblo Nuevo, El Pinar, Padre Varela, Barrio El Quinto y El Ceibo. Zona del arroyo Pinazo y arroyo Garín. Barrio Los Grillos y San Jorge.	https://www.youtube.com/watch?	Telam
31/3/2003	Mercedes	Parque Municipal Independencia	https://noticiasmercedinas.com/070331rio-lujan.htm	Noticias Mercedinas
31/10/2012	Mercedes	Ciudad de Mercedes	https://www.elcivismo.com.ar/notas/14367/	El Civismo
11/6/2014	Mercedes	Barrios Malvinas Argentinas, Marchetti, Unidad y Progreso, San Justox, Virgen del Rosario, Santa Teresita, San Francisco, San Jorge, Acceso Sur, Barrio Peñaloza	https://www.telam.com.ar/notas/201411/84451-mercedes-inundaciones-evacuados.html	Telam
29/10/2014	Mercedes	Ciudad de Mercedes	https://www.youtube.com/watch?v=jab4bqbT_KE	Telam
11/12/2014	Mercedes	Calles 29 y 70.	https://www.telam.com.ar/notas/201411/85066-pulperia-temporal-inundaciones-rio-lujan.html	Telam
8/7/2015	Mercedes	Pulpería de Cacho Dicatarina, la Liga Mercedina de Fútbol y el Parque Municipal.	https://hablemosdeargentina.com/c-buenos-aires/mercedes-buenos-aires/ --> https://www.youtube.com/watch?v=z5fP-0g3tLY&t=217s	Frente Renovador Prensa Mercedes
13/8/2015	Mercedes	Barrio Peñaloza	https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=S-BjVTk1UEI	Telefe Noticias
8/11/2015	Mercedes	Calle 53 el agua y Calle 49. Barrio San Justo, Barrio Peñaloza. Barrio Marchetti, principalmente en la calle 26 y 63. La capilla Santa Teresita.	https://www.infobae.com/2015/08/12/1747992	Infobae
8/11/2015	Mercedes	Calle 53 el agua. Calle 49.	https://www.infoban.com.ar/11/08/2015/mercedes-atraviesa-la-peor-	Infoban

			inundacion-de-los-ultimos-25-anos/	
8/12/2015	Mercedes	Barrio Marchetti	https://www.alamy.es/foto-mercedes	Alamy
11/4/2014	Pilar	Barrios Pinazo, Villa Astolfi, Villa Verde, El Bajo de Derqui, Barrio Nuestra Señora del Pilar, Villa Astolfi y Manzanares.	https://www.pilaradiario.com/informacion-general/2014/11/4/volvi-crecida-afecta-unos-5000-pilarenses-48524.html	Pilar Diario
2/10/2014	Pilar	Barrios Río Luján, Villa Verde, Carabassa y las ciudades de Del Viso: Manuel Alberti y Villa Astolfi.	https://www.letrap.com.ar/nota/2014-2-10-pilar-hay-mas-de-400-evacuados-por-la-crecida-del-rio-lujan	Letra P
29/8/2015	Pilar	Barrio Las Lomitas, en las calles Santa María, Agustoni y Santa Agueda.	https://www.anred.org/2015/08/29/recurso-de-amparo-por-los-inundados-de-pilar/	AN Red
8/11/2015	Pilar	Asentamientos aledaños a los arroyos La Verde, Carabassa, Burgueño,Pinazo y Garín. Los barrios Manantial, Los grillos, San Jorge, Río Lujan, La Lomita y Agustoni.	https://www.telam.com.ar/notas/201508/115981-inundaciones-pilar-evacuados.html	Telam
8/11/2015	Pilar	Barrios Manantial, Los grillos, San Jorge, Río Lujan, La Lomita y Agustoni.	https://reliefweb.int/report/argentina/m-s-de-260-personas-evacuadas-por-las-inundaciones-en-pilar	Reliefweb
18/10/2016	Pilar	Barrio Río Luján y de la colectora de la autovía Pilar-Pergamino	https://www.pilaradiario.com/informacion-general/2016/10/18/evacuados-barrio-lujn-64703.html	Pilar Diario
14/4/2017	Pilar	Barrio La comercial	https://www.youtube.com/watch?v=LcbOkklv4Ks	La Izquierda Diario
5/6/2018	Pilar	Barrios Río Luján, Agustoni, el fondo de La Lomita, barrio Luchetti y Manzanares	https://www.laizquierdadiario.com/Pilar-tras-las-inundaciones-la-desigualdad-social-sin-montaje-y-a-cara-descubierta	La Izquierda Diario
6/6/2018	Pilar	Edificio celeste de Manos en Acción.	https://tn.com.ar/sociedad/	Todo Noticias
5/11/2018	Pilar	Barrios Río Luján, Agustoni, Villa Comercial y Luchetti.	https://www.pilardetodos.com.ar/secciones/noticias/medio-ambiente/las-lluvias-siguen-	Pilar de todos

			complicando-a-pilar-y-vuelven-a-registrarse-inundaciones	
18/10/2019	Pilar	Ribera del Arroyo Pinazo, Barrio Agustoni, Champagnat, Villa La Comercial y Luchetti.	https://www.smnoticias.com/noticias/95765	SM Noticias
8/3/2013	Tigre	Barrios San Diego, Ricardo Rojas, Barrio Parque San Lorenzo, López Camelo y Las Tunas	http://eltigreverde.blogspot.com/2013/08/tigre-inundaciones-una-cuestion-de.html	El Tigre Verde
28/5/2013	Tigre	Barrio Las Tunas, Rincón de Milberg, Los Troncos, Benavidez, Ricardo Rojas, Barrio San Lorenzo	https://agencia-popular.com/2013/05/31/quejas-en-tigre-por-las-inundaciones/	Agencia Popular
9/6/2013	Tigre	Barrios Las Tunas, Delfino, Ricardo Rojas, La Paloma y Parque San Lorenzo	https://www.telam.com.ar/notas/201308/27802-vecinos-de-tigre-se-manifestaron-contra-las-inundaciones.html	Telam
11/3/2014	Tigre	Barrios El Garrote, Delfino, Rincón, Las Tunas, La Costilla, Barrio Delfino.	http://www.archivoinfojus.gob.ar/nacionales/countries-secos-y-barrios-inundados-el-paredon-que-divide-6313.html	Infojus
4/4/2014	Tigre	Museo de Arte de Tigre	http://puesta-en-valor.blogspot.com/2014/11/inundaciones-en-el-tigre.html	Puesta en Valor
16/11/2014	Tigre	Rincón de Milberg, Las Tunas, Dique Luján, San Diego, La Paloma y Ricardo Rojas	https://puntaquerandi.com/2014/11/18/vecinos-de-tigre-marcharon-contra-las-inundaciones-y-los-barrios-privados/	Punta Querandí
8/7/2015	Tigre	Las localidades de Benavídez, Rincón de Milberg y General Pacheco: Barrio Las Tunas.	https://www.pagina12.com.ar/diario/sociedad/3-278836-2015-08-07.html	Página 12
17/8/2015	Tigre	Hospital Materno Infantil de Tigre "Valentin Nores" y sus calles aledañas.	https://diariohoy.net/politica/tigre-mientras-el-agua-no-bajaba-se-	Diario Hoy
25/01/2018	Tigre	Calles Victorica, Saldias y Lavalle.	https://www.minutouno.com/sociedad/	Minuto Uno
10/12/2019	Tigre	Las Tunas, Ricardo Rojas, La Paloma, Los Troncos, Rincón del Milberg y Los Tabanos	https://www.laizquierdadiario.com/Tigre-un-municipio-debajo-del-agua	La Izquierda Diario

Anexo 2. Combinación falso color de imágenes. Detección humedad.



Anexo 3. Matrices de confusión para las clasificaciones de imágenes satelitales Landsat.

- Matriz de confusión 1999

		Referencia						
		Ciudad	Suelo desnudo	Veget. vigorosa	Veget. baja	Agua	Total clasificado	Exactitud del usuario (%)
Clasificación	Ciudad	**29**	2	0	0	1	32	91
	Suelo desnudo	15	**47**	0	0	5	67	70
	Veget. vigorosa	0	0	**48**	1	3	52	92
	Veget. baja	6	1	2	**49**	16	74	66
	Agua	0	0	0	0	**25**	25	100
	Total referencia	**50**	**50**	**50**	**50**	**50**	**250**	
	Exact. del productor (%)	**58**	**94**	**96**	**98**	**50**		

- Matriz de confusión 2010

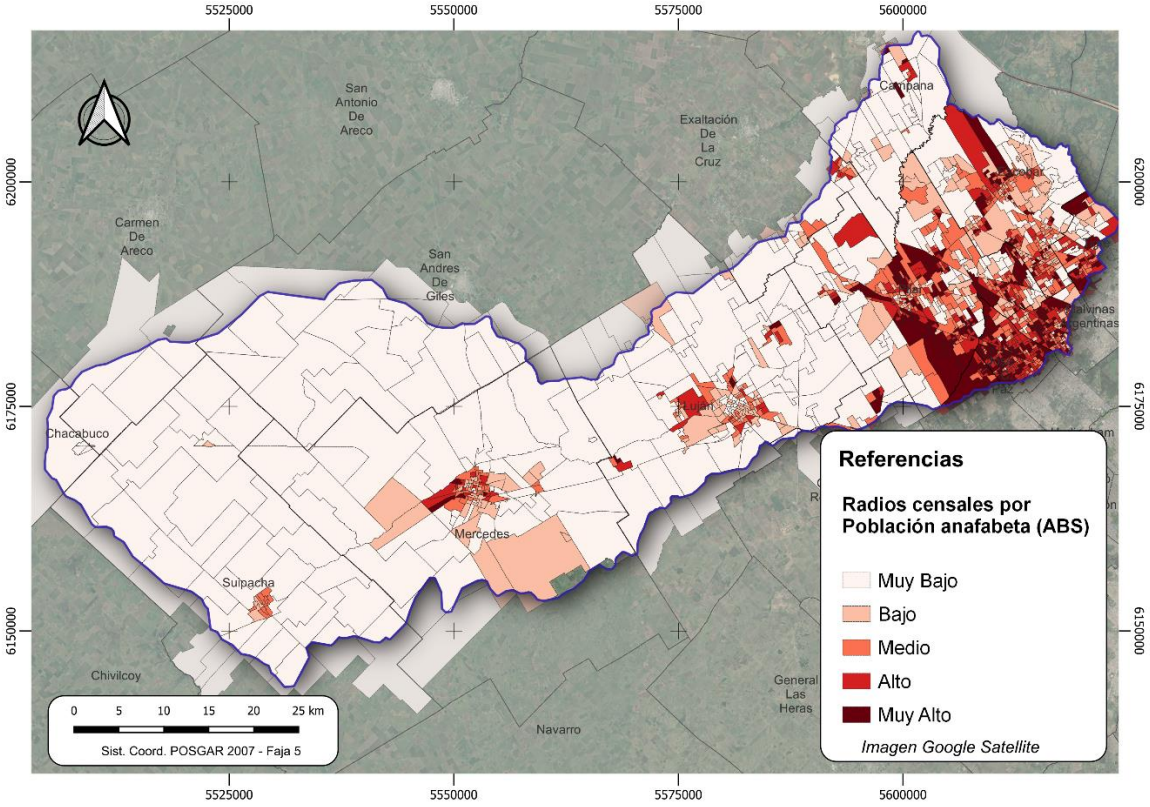
		Referencia						
		Ciudad	Suelo desnudo	Veget. vigorosa	Veget. baja	Agua	Total clasificado	Exactitud del usuario (%)
Clasificación	Ciudad	**32**	1	0	0	0	33	97%
	Suelo desnudo	6	**47**	0	3	0	56	84%
	Veget. vigorosa	0	0	**47**	0	0	47	100%
	Veget. baja	12	2	3	**47**	8	72	65%
	Agua	0	0	0	0	**42**	42	100%
	Total referencia	**50**	**50**	**50**	**50**	**50**	250	
	Exact. del productor (%)	**58**	**94**	**96**	**98**	**50**		

- Matriz de confusión 2020

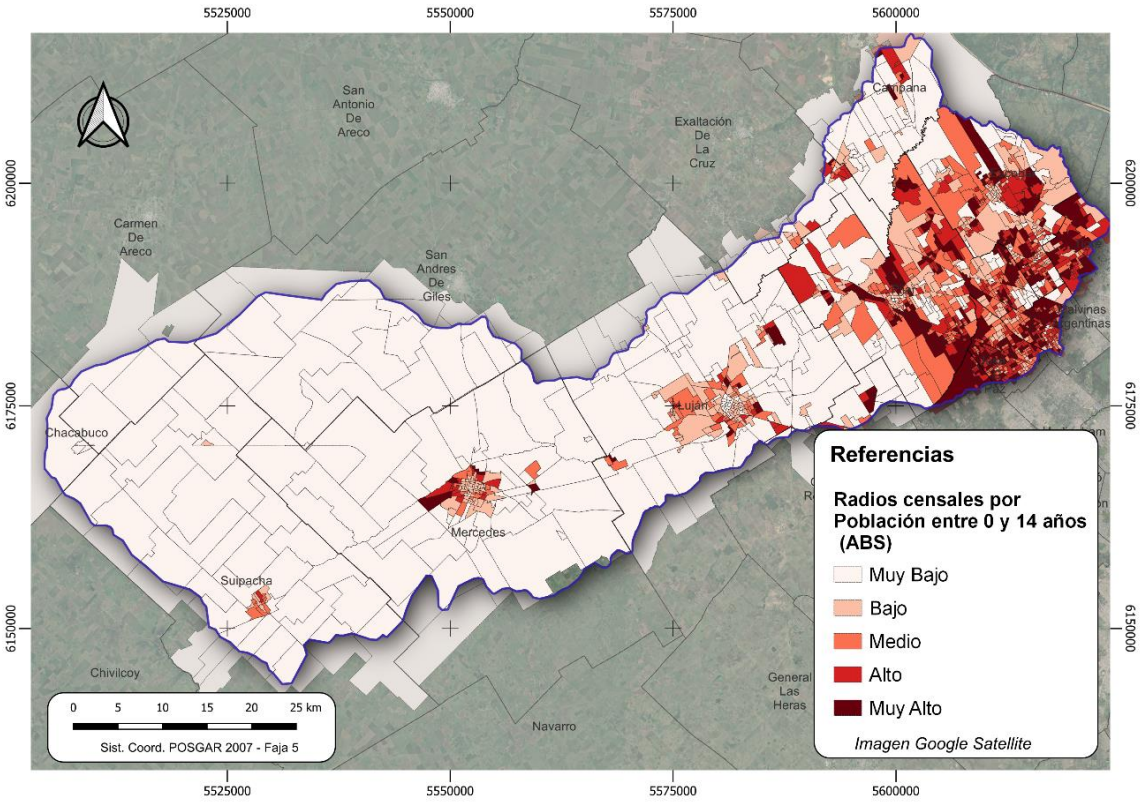
		Referencia						
		Ciudad	**Suelo desnudo**	**Veget. vigorosa**	**Veget. baja**	**Agua**	**Total clasificado**	**Exactitud del usuario (%)**
Clasificación	**Ciudad**	**41**	4	0	0	14	59	69%
	Suelo desnudo	8	**46**	0	13	7	74	62%
	Veget. vigorosa	1	0	**49**	14	6	70	70%
	Veget. baja	0	0	1	**23**	2	26	88%
	Agua	0	0	0	0	**21**	21	100%
	Total referencia	**50**	**50**	**50**	**50**	**50**	250	
	Exact. del productor (%)	**58**	**94**	**96**	**98**	**50**		

Anexo 4. Mapas de Indicadores sociales utilizados para el IVSD.

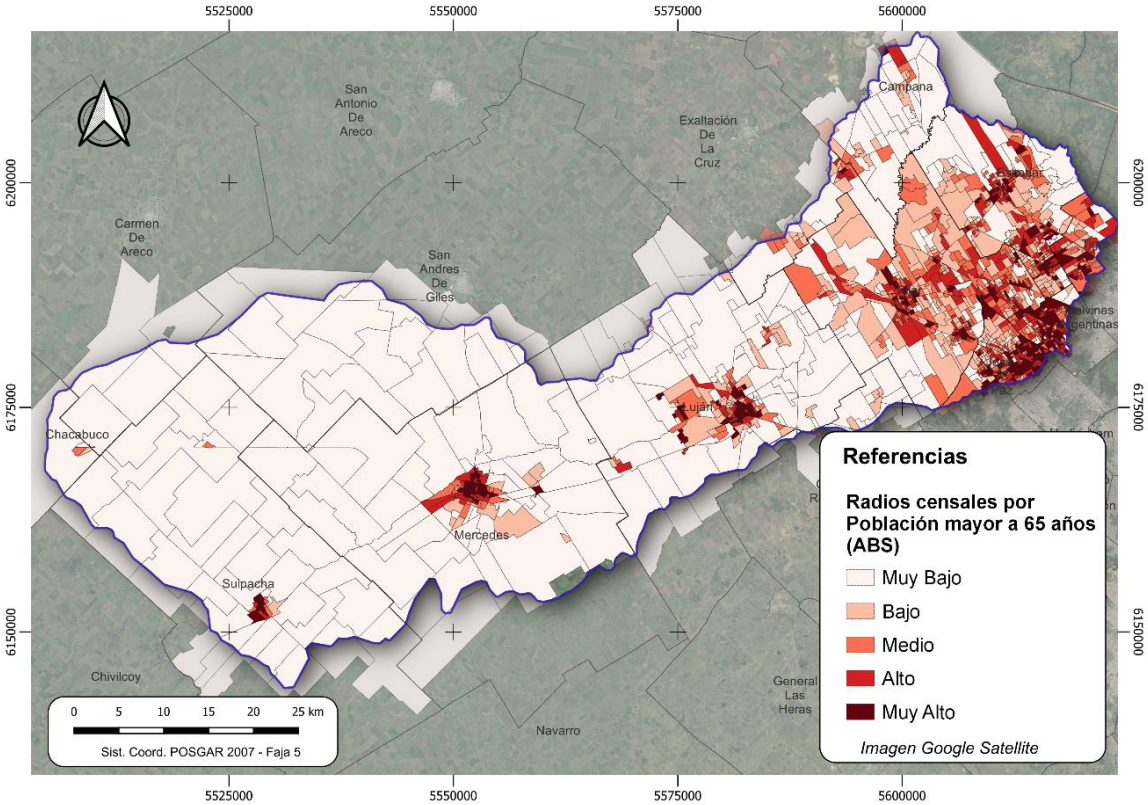
- Indicadores absolutos



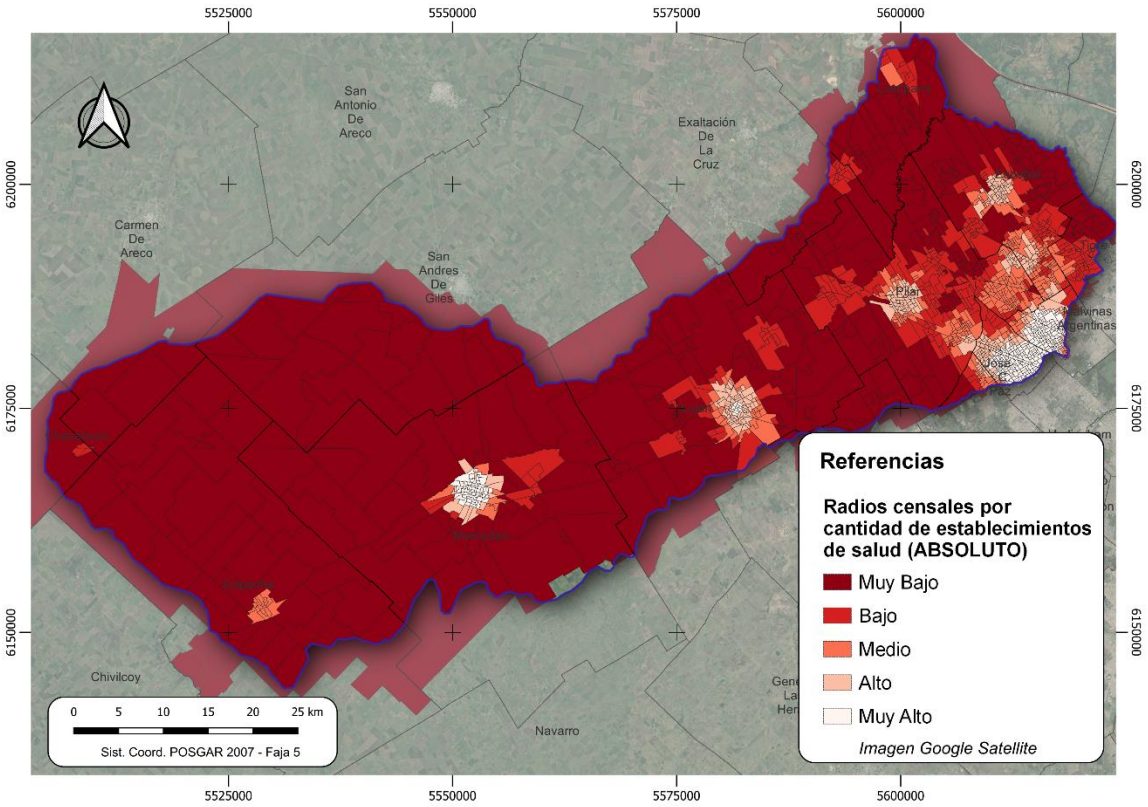
Radios censales por cantidad *absoluta* de Población de analfabetos. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).



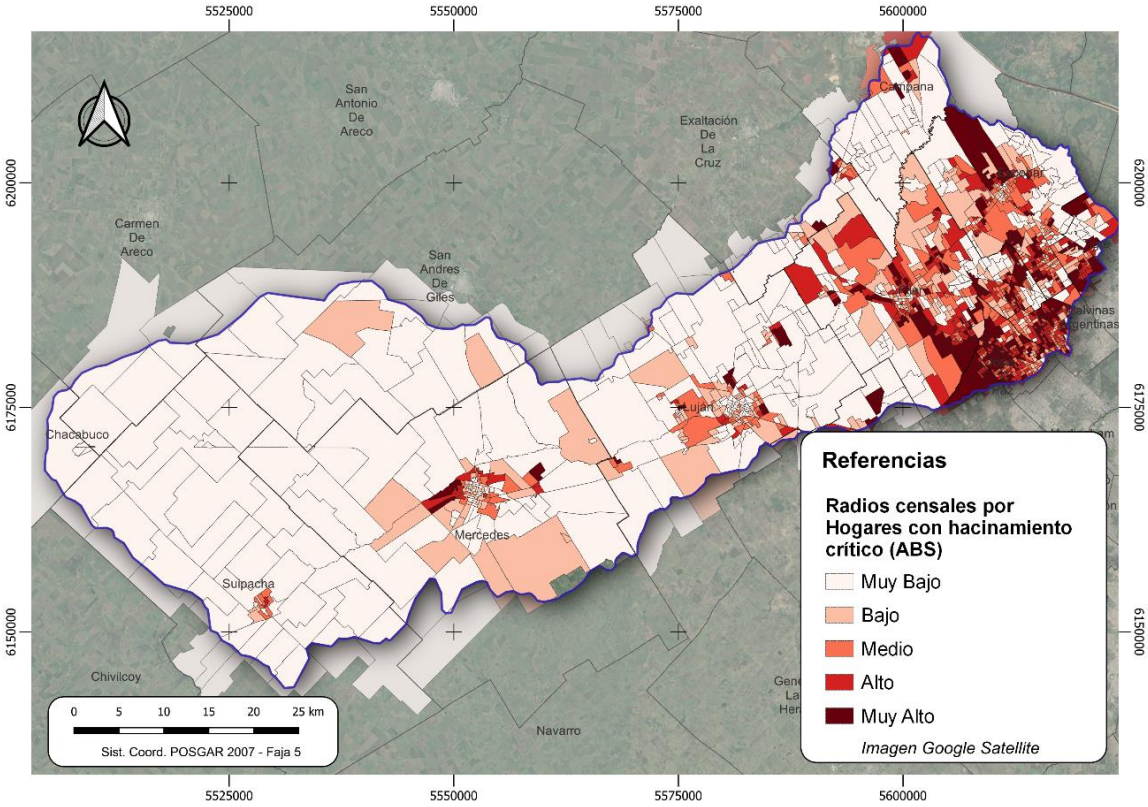
Radios censales por cantidad *absoluta* de Población entre 0 y 14 años. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).



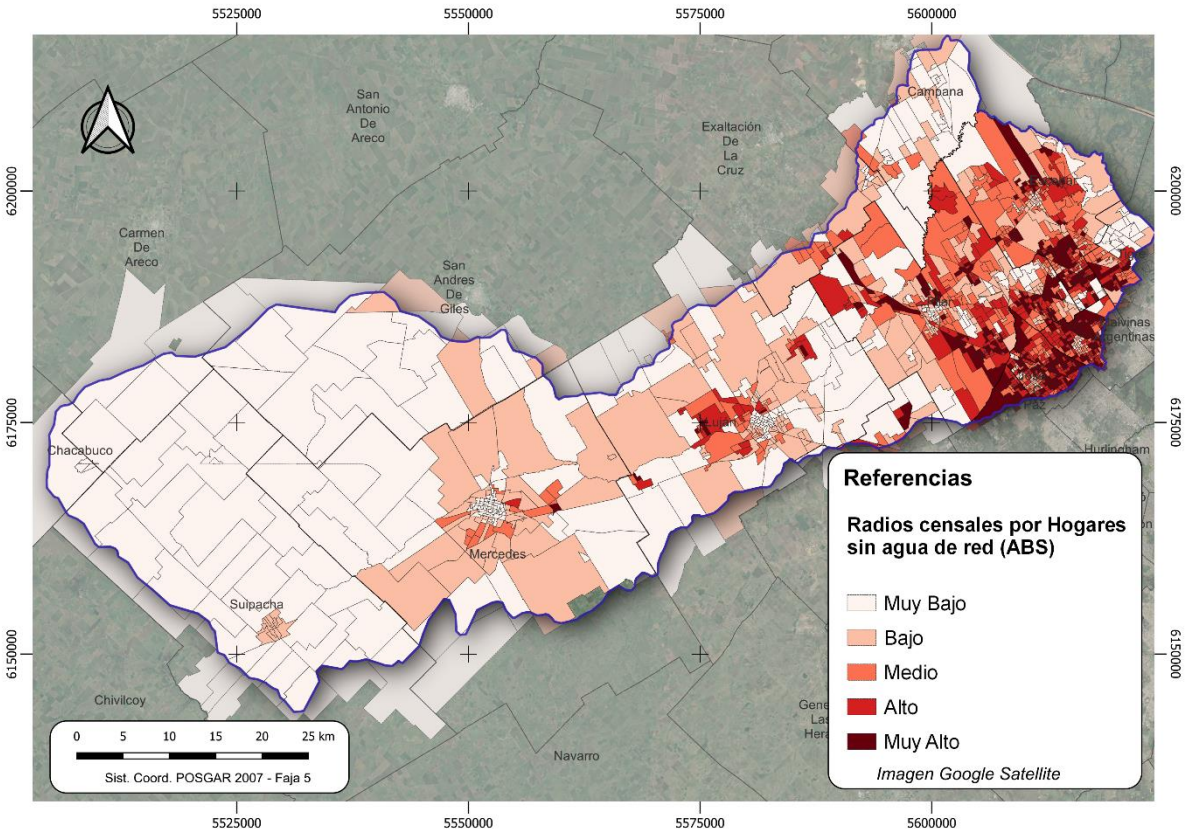
Radios censales por cantidad *absoluta* de Población mayor a 65 años. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).



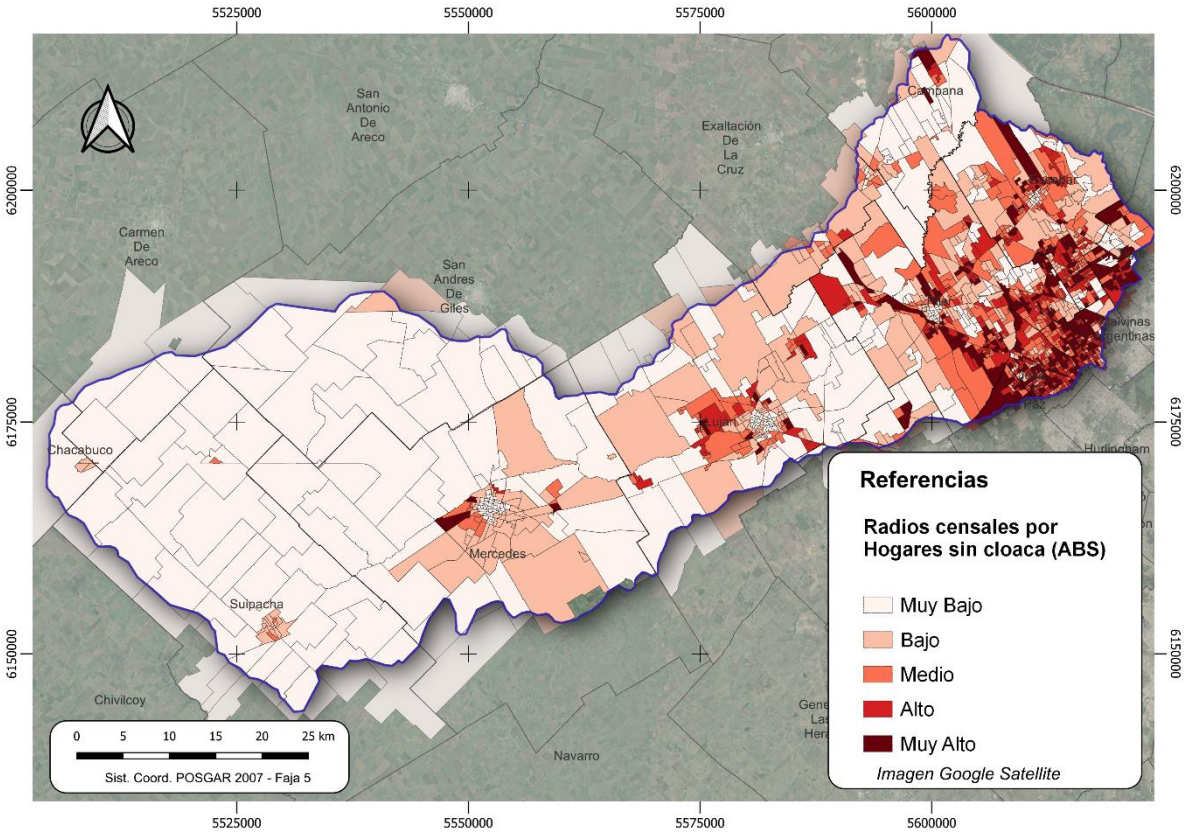
Radios censales por cantidad *absoluta* de Establecimiento de Salud. Elaboración propia a partir de Datos Abiertos de la Provincia de Buenos Aires.



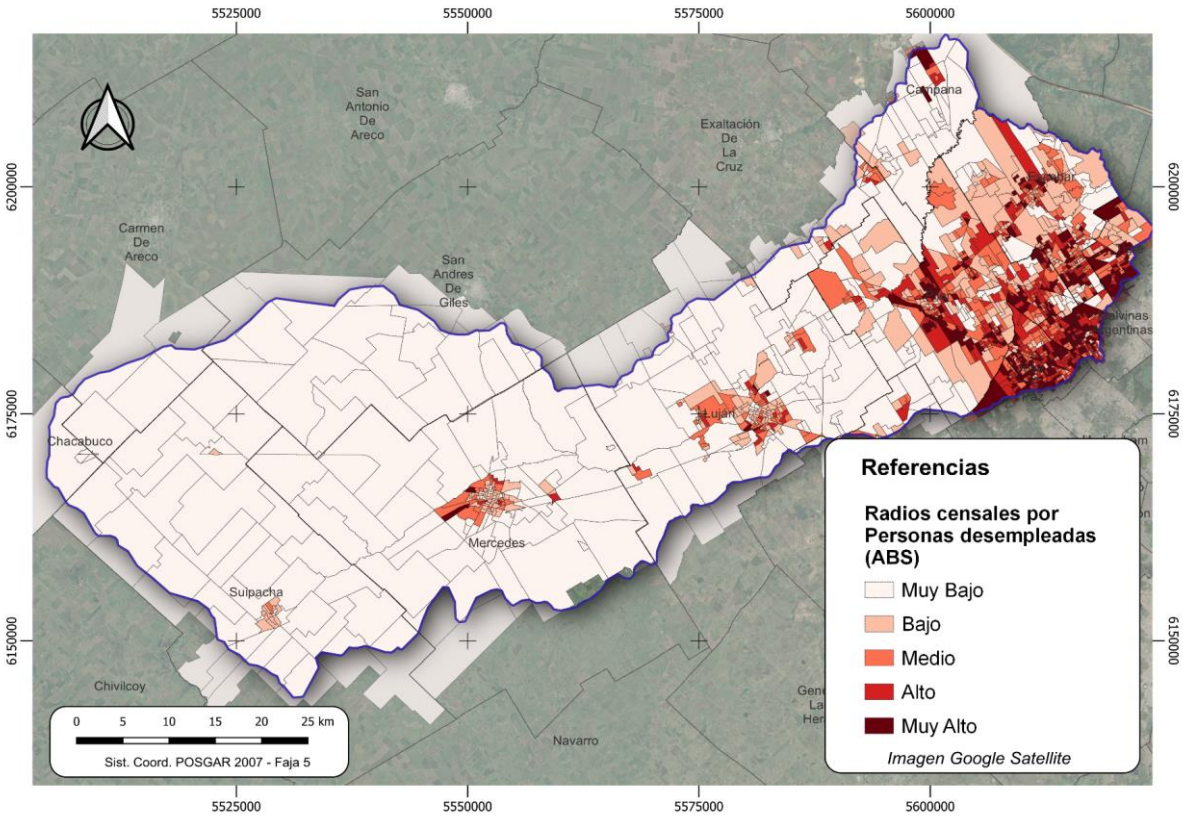
Radios censales por cantidad *absoluta* de Hogares con Hacinamiento crítico. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).



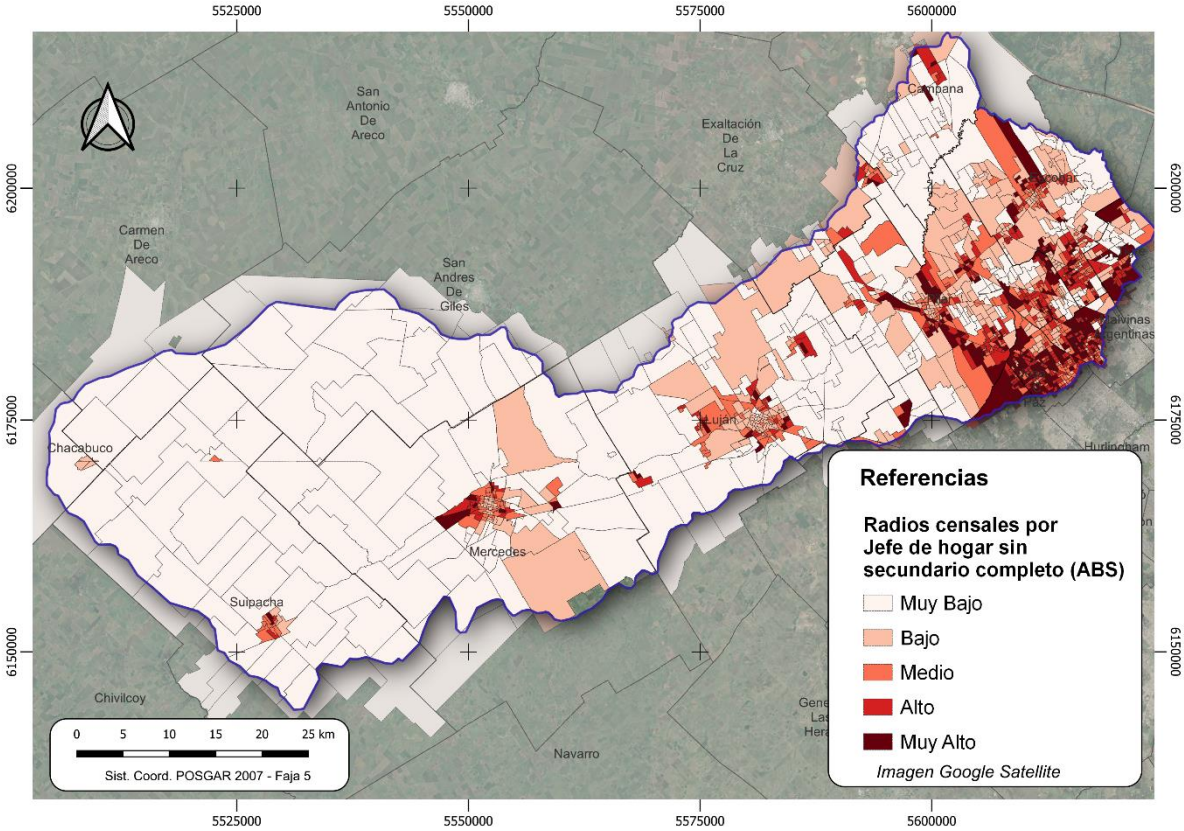
Radios censales por cantidad *absoluta* de Hogares sin agua potable. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).



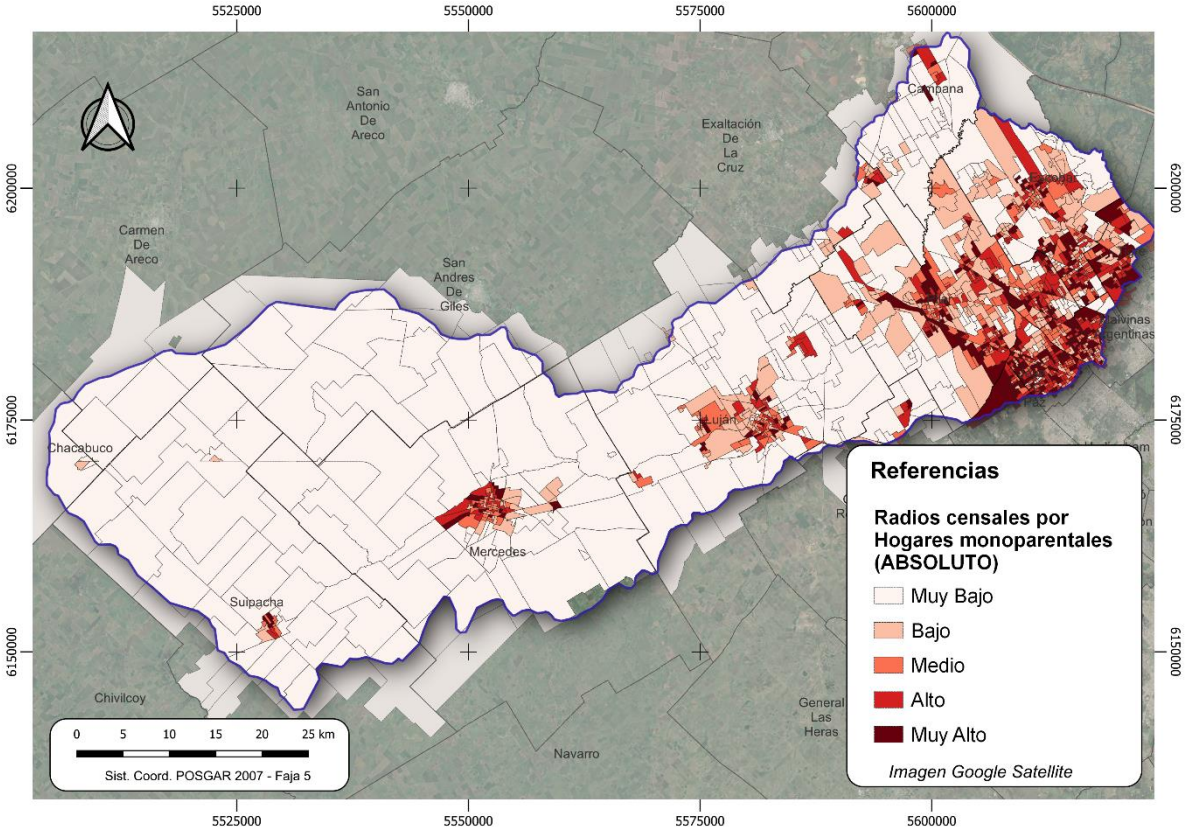
Radios censales por cantidad *absoluta* de Hogares sin cloaca. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).



Radios censales por cantidad *absoluta* de Personas desempleadas. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).

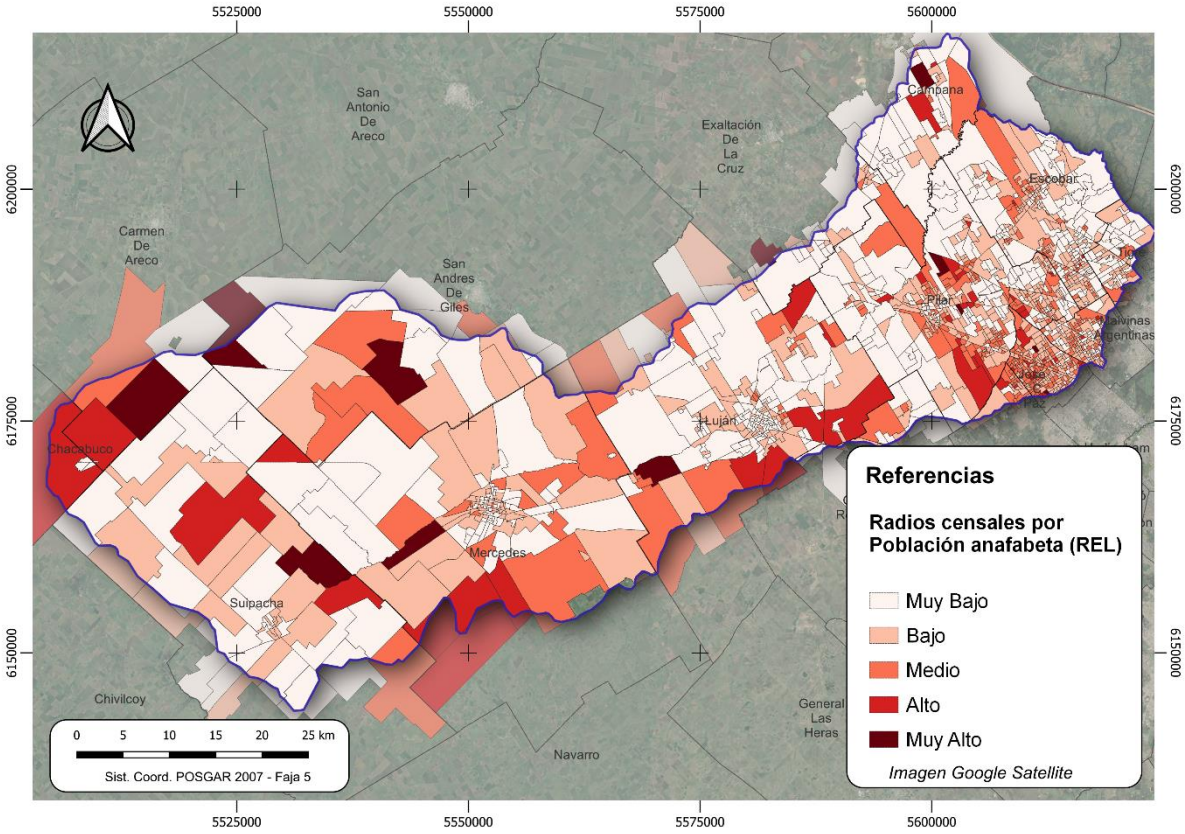


Radios censales por cantidad *absoluta* de Jefes de hogar sin secundario completo. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).

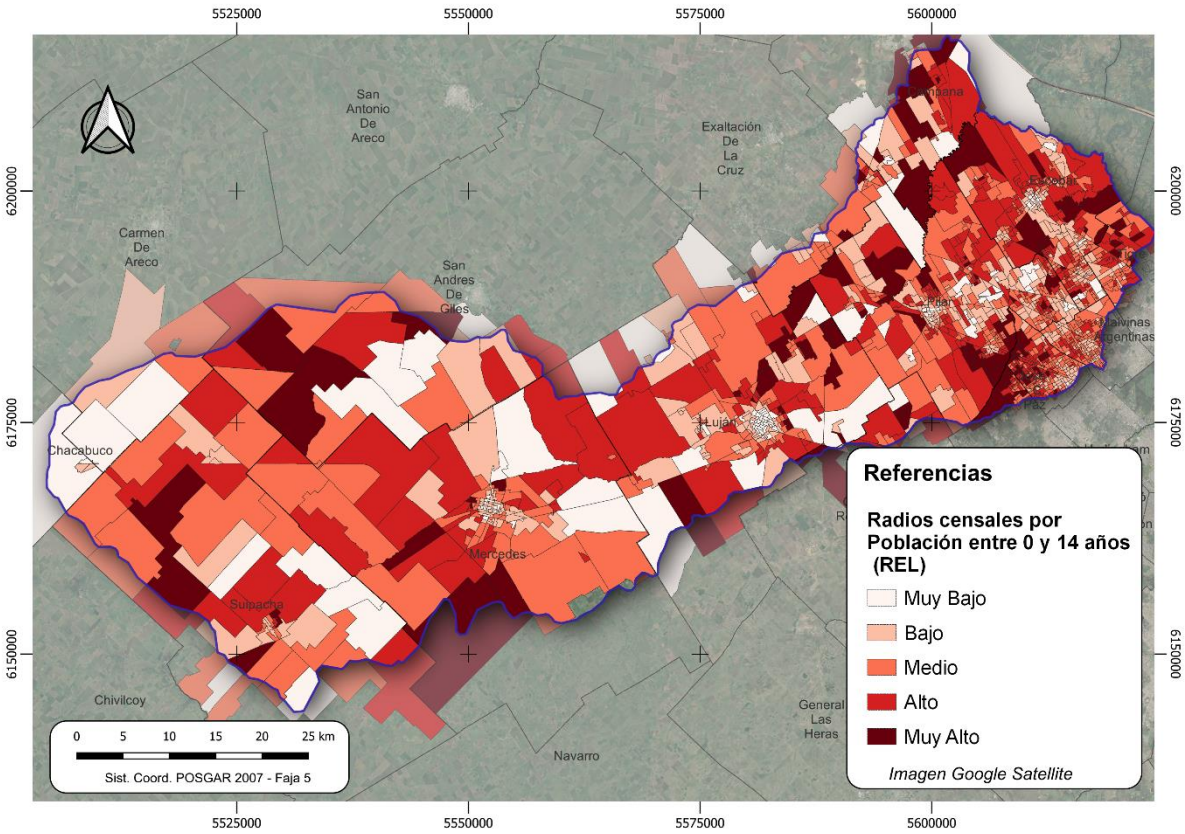


Radios censales por cantidad *absoluta* de Hogares monoparentales. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).

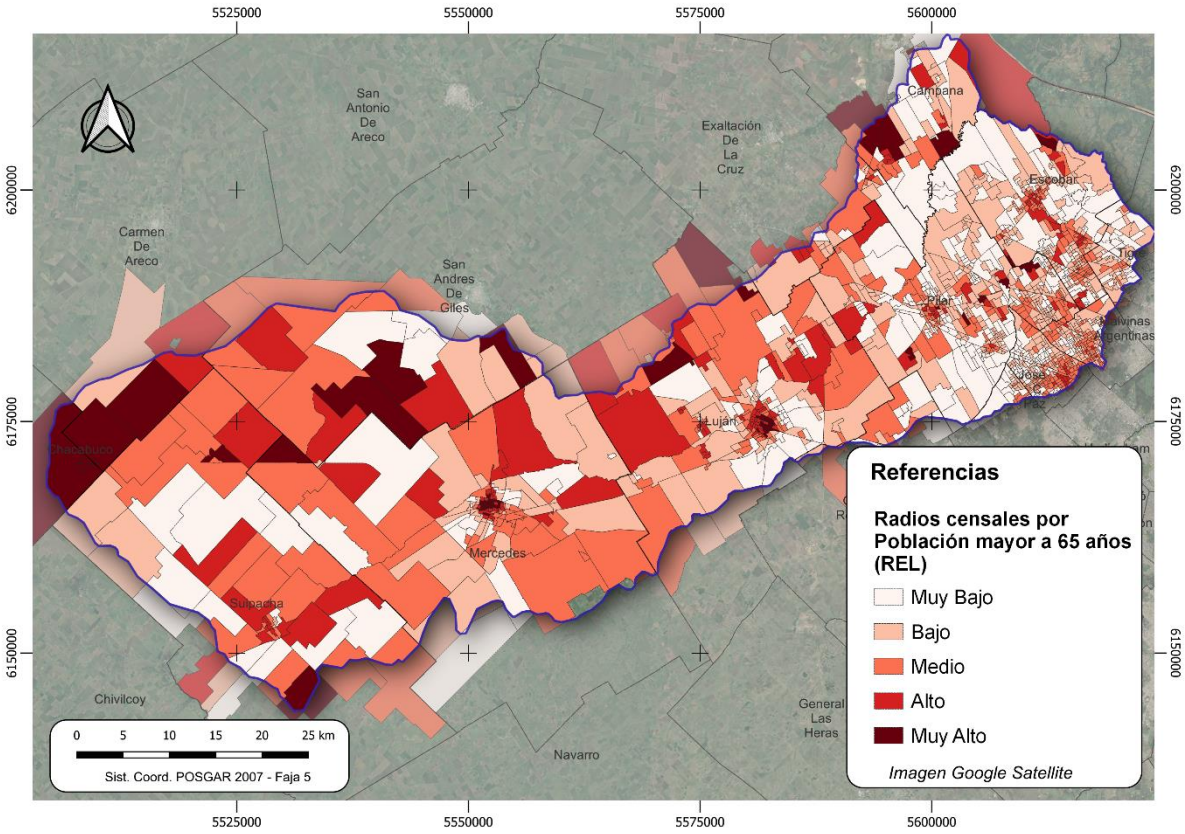
- Indicadores relativos



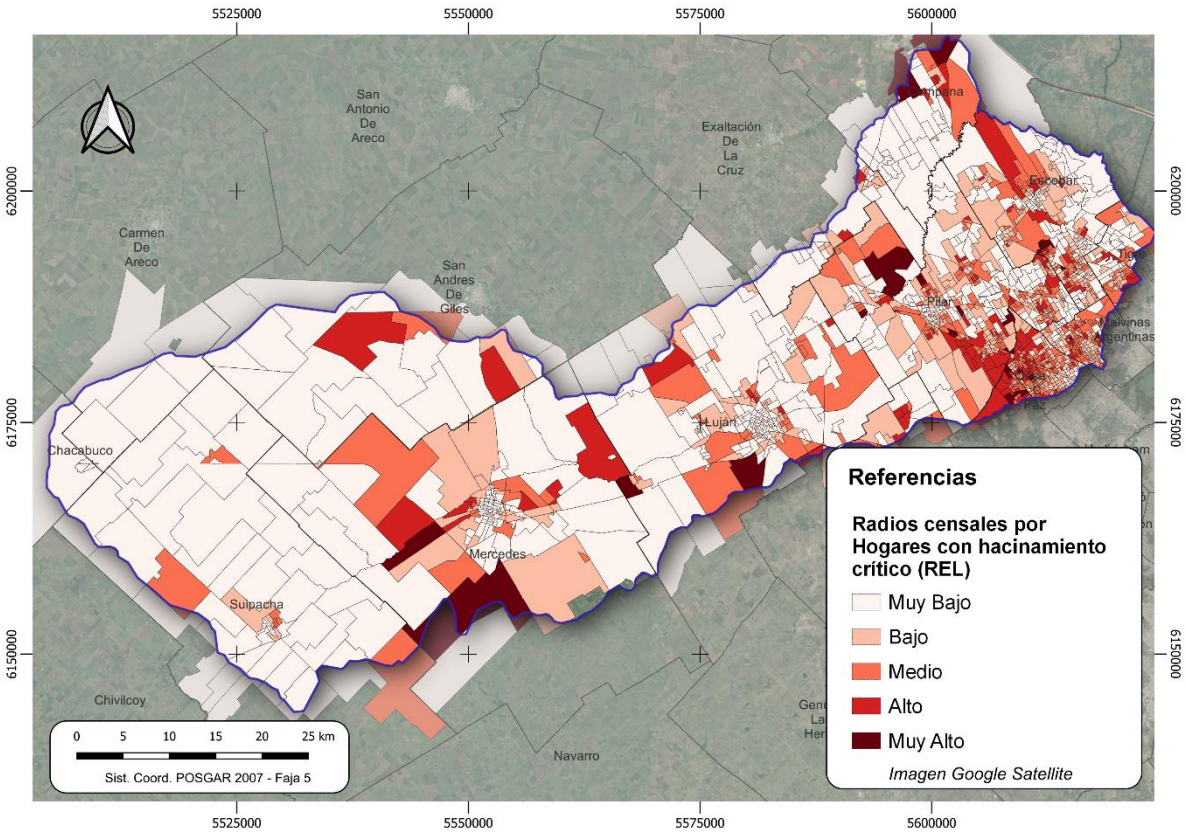
Radios censales con Población r*elativa* de analfabetos. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).



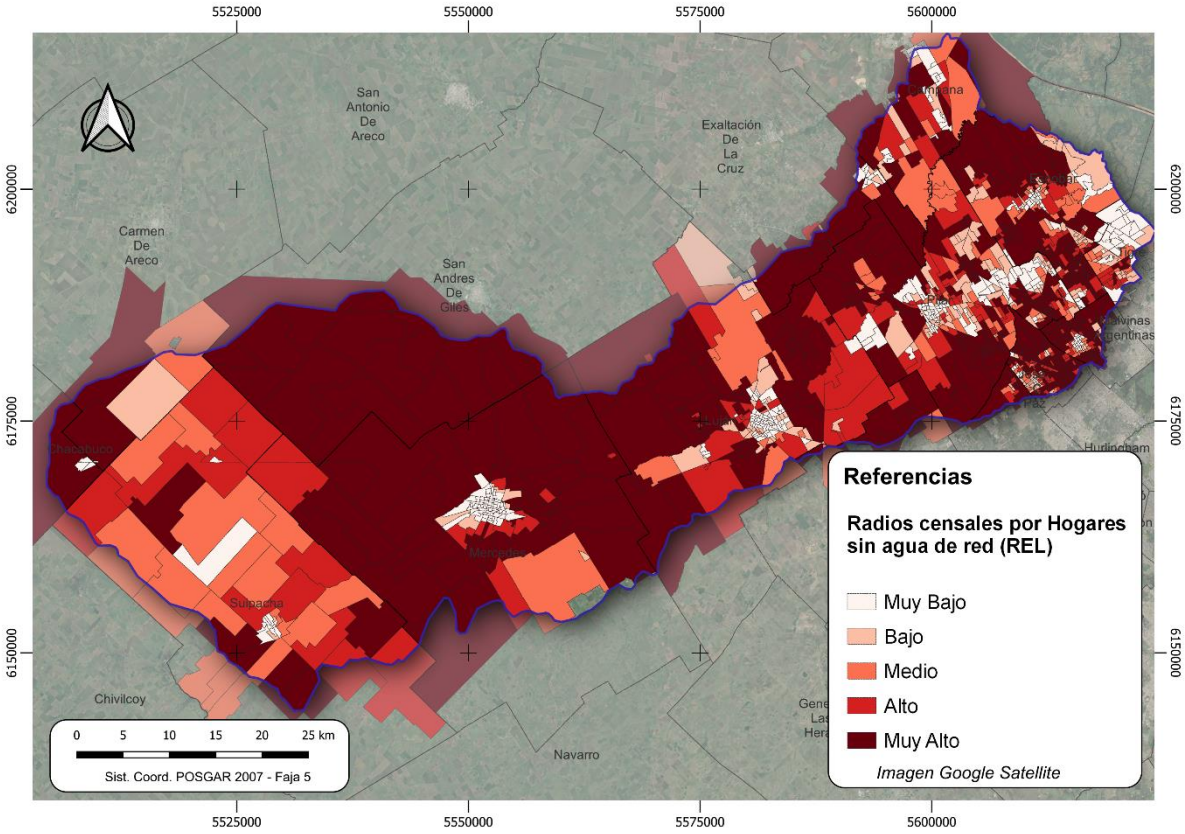
Radios censales con Población *relativa* entre 0 y 14 años. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).



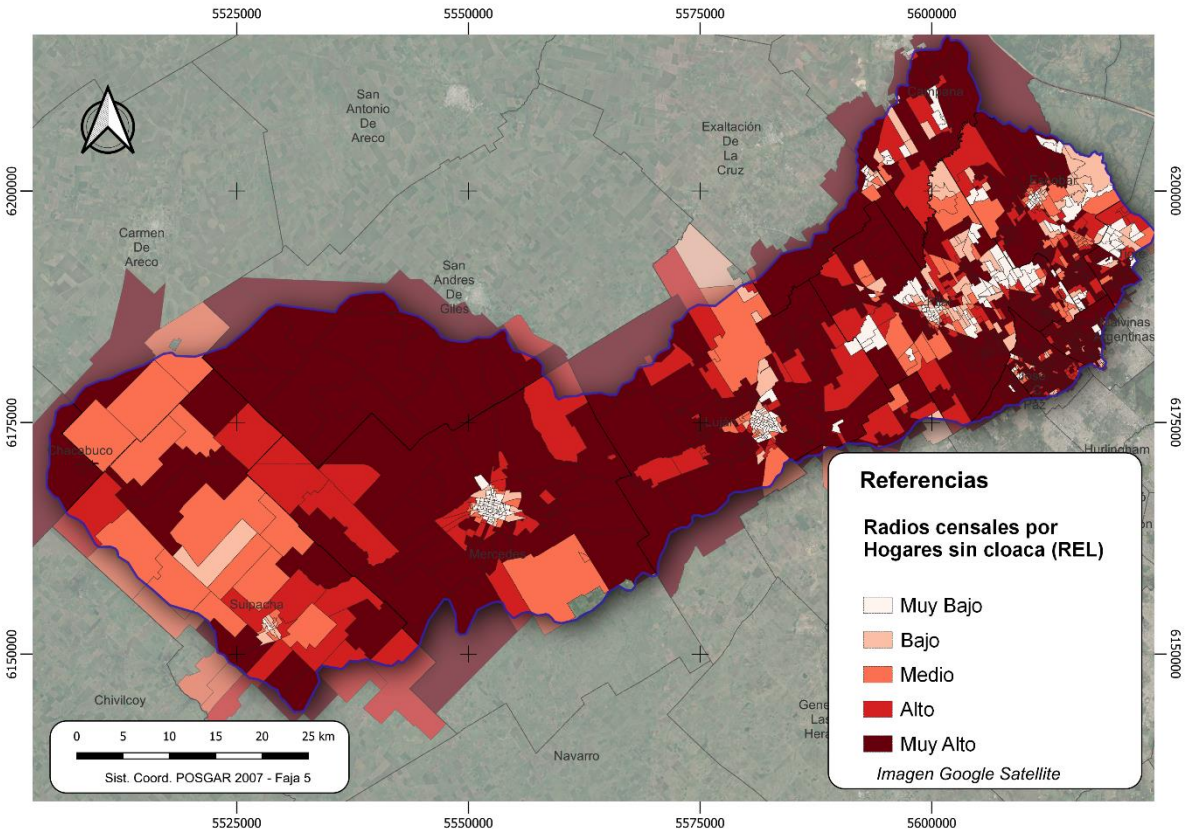
Radios censales por cantidad *relativa* de Población mayor a 65 años. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).



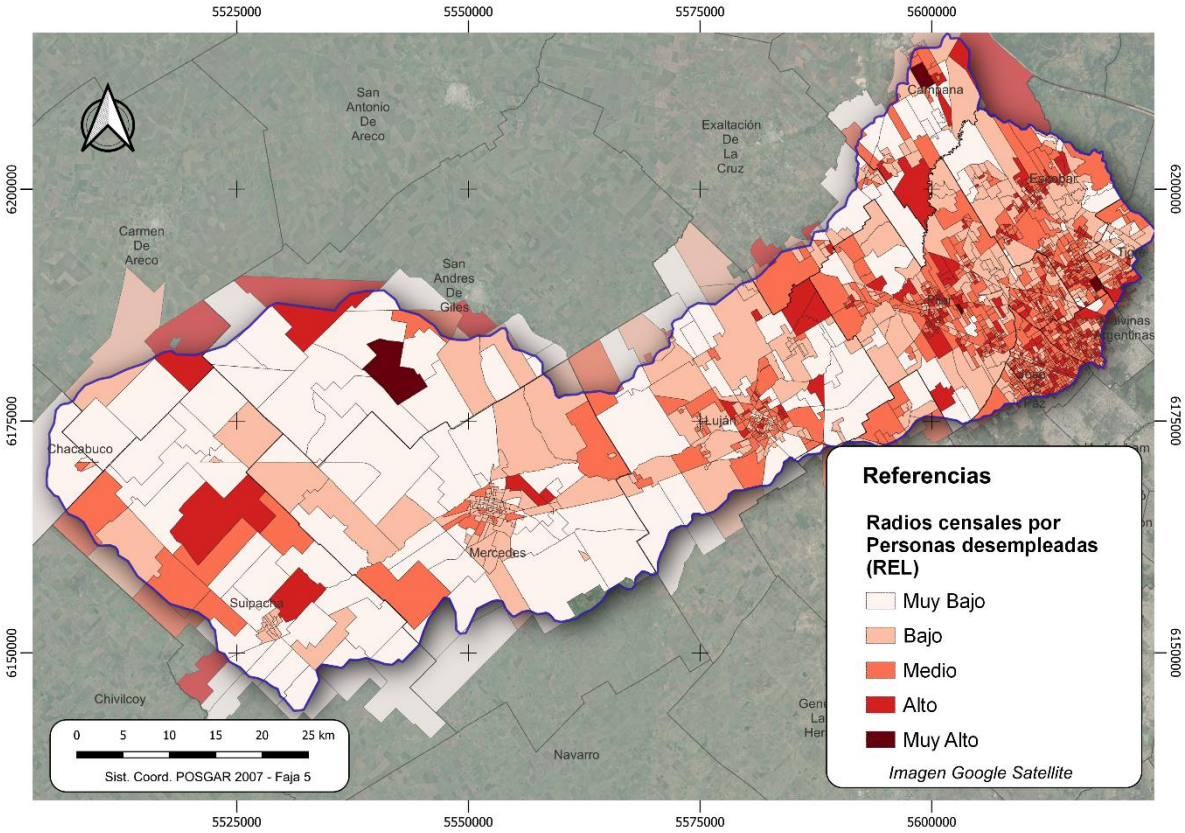
Radios censales por cantidad *relativa* de Hogares con Hacinamiento crítico. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).



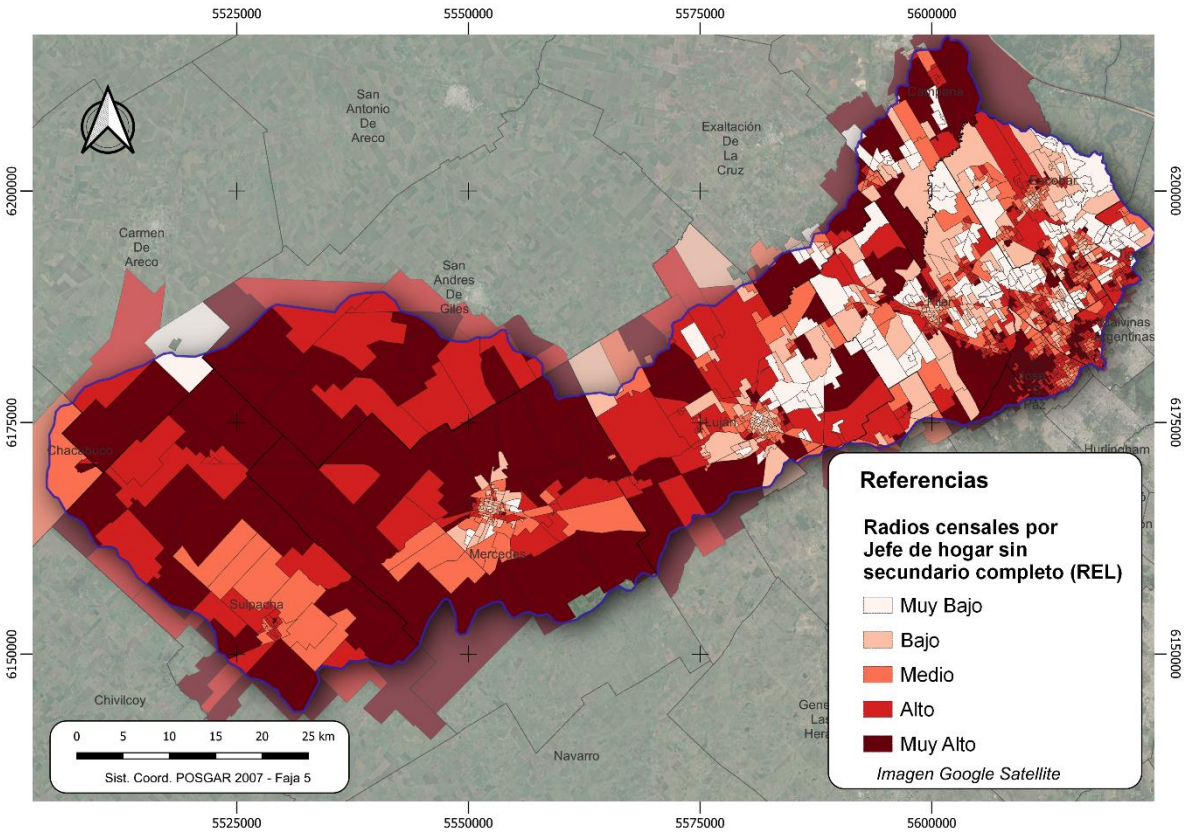
Radios censales por cantidad *relativa* de Hogares sin agua potable. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).



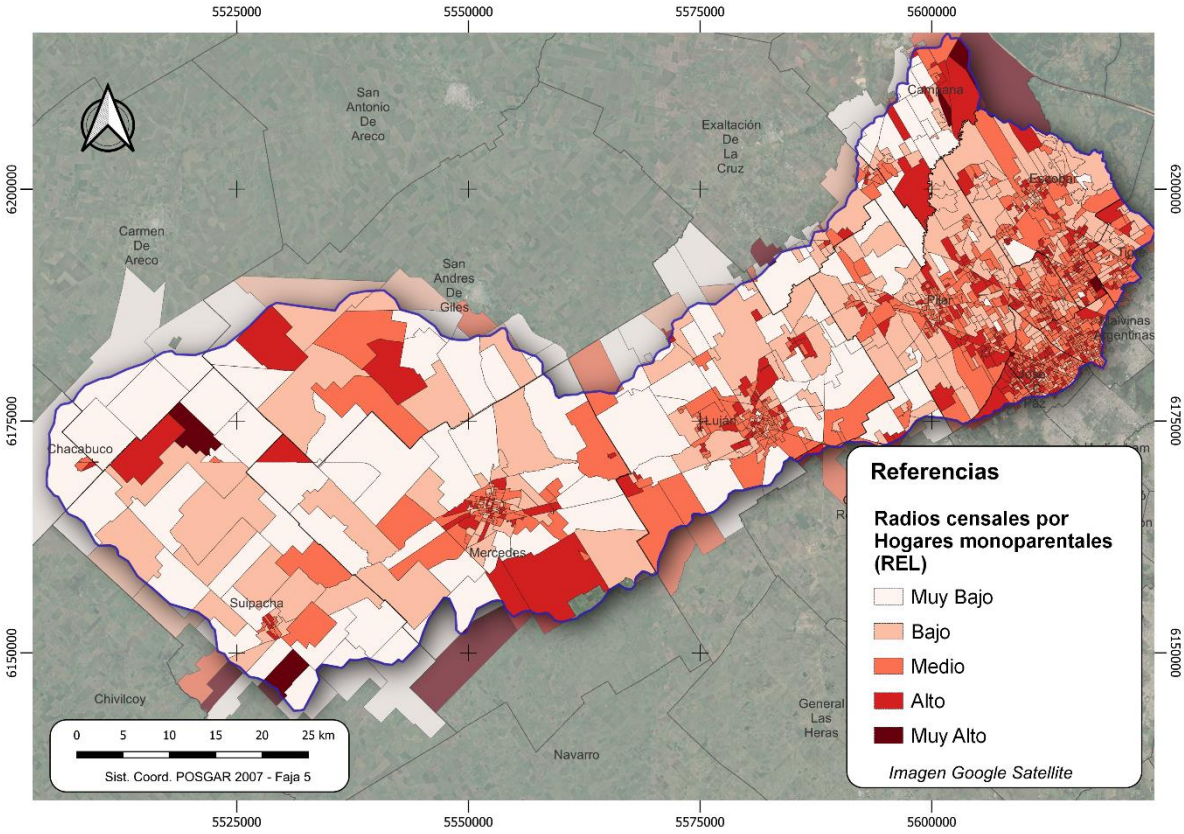
Radios censales por cantidad *relativa* de Hogares sin cloaca. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).



Radios censales por cantidad *relativa* de Personas desempleadas. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).



Radios censales por cantidad *relativa* de Jefes de hogar sin secundario completo. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).



Radios censales por cantidad *relativa* de Hogares monoparentales. Elaboración propia en base datos Censo 2022 (INDEC).