



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE

FACULTAD DE HUMANIDADES

**ESPECIALIZACIÓN EN TECNOLOGÍAS
DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

Trabajo Integrador Final

Análisis espacial del crecimiento urbano y cambio de usos de la tierra en
Clorinda (Formosa) en el periodo 1985-2022

Autor: Lic. Héctor Andrés Cappello

Tutor: Dr. Luis Humacata

2025

ÍNDICE

Introducción	3
Objetivos de la investigación	5
Antecedentes/estado de la cuestión	5
Geografía Aplicada y TIG.....	5
Área de estudio.....	11
Materiales y Métodos	13
Metodología de detección de cambios.....	17
Resultados	18
Análisis cartográfico	23
Consideraciones finales	24
Bibliografía	26

Introducción

Clorinda es la segunda ciudad más importante de la provincia de Formosa, destacándose por su significativa población y su rol como centro urbano y comercial para la región (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007; Ramírez y Blanco, 2016; INDEC y SEPLADE, 2000). La ciudad ha experimentado un crecimiento poblacional constante; tal es así, que pasó de 10.043 habitantes en 1960 a 52.837 en 2010, lo que representó un aumento del 426% en cincuenta años (Ramírez y Blanco, 2016). Asimismo, Rigonatto (2006) señala una evolución creciente en su historia, con una expansión considerable entre 1970 y 1996. Este desarrollo se ha visto influenciado por su estratégica ubicación geográfica, dado que Clorinda constituye la frontera norte de Argentina, limitando directamente con la República del Paraguay, específicamente frente a la ciudad de Asunción (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007).

Esta posición estratégica le confiere un rol crucial como eje comercial y logístico en el Nordeste Argentino, constituyendo un enclave fundamental para el intercambio de bienes y servicios con Paraguay (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007; Ramírez y Blanco, 2016). La Ruta Nacional N°11 la conecta tanto con la capital provincial, Formosa, como facilita el acceso a Asunción, Paraguay (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007).

Dichos factores han impulsado una acelerada transformación territorial. No obstante, este crecimiento ha sido caracterizado como "desordenado y espontáneo" (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007). La estructura física construida de la ciudad es muy dispersa y carece de una planificación urbanística clara (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007; Rigonatto, 2006). La Ruta Nacional N°11, por ejemplo, ejerce un efecto de "seccionamiento y fragmentación" en la ciudad (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007). Esta dinámica de ocupación, que con frecuencia avanza sobre valles aluviales y áreas con riesgo hídrico, ha propiciado situaciones "erróneas técnicamente" en el uso del territorio (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007; Rigonatto, 2006).

Este patrón de expansión horizontal, común en otras ciudades argentinas, genera costos crecientes en infraestructuras y servicios, además de impactos ambientales (Tejido Urbano, 2023; Lanfranchi *et al.*, 2018). A modo de contexto, la aglomeración urbana de Formosa capital, de la cual Clorinda es una ciudad relevante en la provincia, ha mostrado un incremento significativo en su mancha urbana y una pérdida de densidad entre 2018 y 2023, lo que refleja una tendencia regional de expansión difusa (Tejido Urbano, 2023).

Esta expansión urbana implica no solo transformaciones en la estructura física de la ciudad, como la proliferación de urbanizaciones cerradas de baja densidad poblacional o la ocupación de grandes espacios vacíos que alimentan un crecimiento discontinuo (Lanfranchi *et al.*, 2018; Humacata, 2021), sino que también conlleva significativas implicaciones socioeconómicas y ambientales que demandan un análisis riguroso (Lanfranchi *et al.*, 2018). Los cambios en el uso de la tierra pueden generar impactos negativos en espacios naturales de conservación y en sitios de producción rural tradicional, creando conflictos de competencia espacial y severos

problemas ambientales como inundaciones en zonas urbanas y rurales (Humacata, 2017; Humacata y Buzai, 2018; Principi, 2016; Humacata, 2022).

En el caso de Clorinda, se han identificado problemas específicos como la persistencia en ocupar y consolidar áreas de alto riesgo hídrico, deficiencias en los sistemas de saneamiento — con solo un 30% de la población conectada a cloacas—, y la contaminación de cuerpos de agua por desagües sin tratamiento (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007). Estos antecedentes evidencian situaciones "erróneas técnicamente" en la ocupación del territorio y una desconsideración por sus componentes naturales (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007).

Ante esta complejidad, el análisis de la evolución de la "mancha urbana" mediante el uso de imágenes satelitales y Sistemas de Información Geográfica (SIG) se establece como una metodología esencial y fundamental (Vargas-Bolaños *et al.*, 2020; Humacata, 2017; Humacata y Buzai, 2018; Humacata, 2021; Buzai y Baxendale, 2013). Esta aproximación proporciona información valiosa sobre el desarrollo urbano, los cambios en el uso de la tierra y la expansión de áreas residenciales, comerciales e industriales (Lanfranchi *et al.*, 2018; Humacata, 2017; Humacata, 2021).

Las imágenes satelitales, al posibilitar un análisis multitemporal, brindan una perspectiva estructural detallada que revela patrones de crecimiento y tendencias que de otro modo no serían evidentes (Ruiz *et al.*, 2013; Humacata y Buzai, 2018). En este sentido, el empleo de la teledetección y los SIG facilita la cuantificación de la magnitud y la distribución espacial de las modificaciones territoriales, incluyendo ganancias, pérdidas y cambios netos, lo cual es crucial para comprender la dinámica de ocupación de la tierra (Humacata, 2022; Humacata y Buzai, 2018).

Este estudio resulta fundamental para comprender la situación actual de Clorinda y para la planificación informada de su futuro (Ramírez y Blanco, 2016; Buzai y Baxendale, 2013). La evidencia derivada del análisis espacial es crucial para la toma de decisiones relacionadas con el uso de la tierra, la gestión de recursos y la provisión eficiente de servicios públicos (Lanfranchi *et al.*, 2018; Buzai y Baxendale, 2015). La ausencia de una planificación urbana integral ha sido identificada como una problemática central en Clorinda (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007), y transformar el patrón de crecimiento de las ciudades exige acciones concretas en la planificación y gestión territorial (Lanfranchi *et al.*, 2018).

Además, el análisis de la mancha urbana y los cambios de uso de la tierra sirve como una base sólida para futuros estudios comparativos, permitiendo el desarrollo de modelos de crecimiento urbano y la identificación de sitios óptimos para la expansión que minimicen conflictos ambientales y productivos (Vargas-Bolaños *et al.*, 2020; Humacata, 2022; Humacata y Buzai, 2018). La planificación territorial busca construir un futuro deseado y viable, y la geografía aplicada, con el apoyo de los SIG, es fundamental en este proceso (Buzai y Baxendale, 2013).

Por lo tanto, el empleo de las Tecnologías de la Información Geográfica constituye una metodología indispensable para desentrañar los patrones espacio-temporales de la expansión urbana, cuantificar las modificaciones en el uso de la tierra e identificar el crecimiento desordenado que caracteriza a Clorinda. Esto brinda un diagnóstico territorial fundamental para su ordenamiento y el logro de un desarrollo sostenible, aportando conocimientos a nivel espacial y apoyando la toma de decisiones (Humacata, 2022; Humacata, 2021; Humacata, 2017; Buzai y Baxendale, 2013).

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Evaluar mediante SIG la dinámica espaciotemporal del crecimiento urbano y cambios de uso de la tierra en Clorinda (1985-2022), cuantificando tasas de cambio y patrones de expansión.

Objetivos específicos

1. Generar mapas multitemporales (1985 y 2022) de cobertura de la tierra mediante interpretación visual, con base en MapBiomias, clasificando grandes categorías.
2. Analizar la expansión urbana y su relación con las pérdidas y ganancias de áreas.
3. Identificar patrones de distribución espaciales de crecimiento urbano (dirección predominante, fragmentación, entre otras).

Antecedentes/estado de la cuestión

La mancha urbana, también denominada "área urbana" o "superficie urbanizada", se define como la extensión física de un área ocupada por una ciudad (Lanfranchi *et al.*, 2018; Tejido Urbano, 2023). Su delimitación se efectúa a partir de la interpretación de imágenes satelitales, identificando los usos de la tierra urbanos contiguos y funcionalmente conectados, lo que permite determinar el alcance continuo de un aglomerado (Tejido Urbano, 2023; Lanfranchi *et al.*, 2018; Vargas-Bolaños *et al.*, 2020).

Esta mancha incluye no solo las áreas construidas, sino también los "vacíos urbanos" (fracciones de tierra no urbanizadas y sin uso al interior del perímetro urbano) donde ya se ha realizado inversión pública o privada y se prestan servicios públicos (Lanfranchi *et al.*, 2018). De manera más amplia, la mancha urbana abarca el área metropolitana y su periferia, entendida como el territorio externo de la ciudad que está urbanizado en mayor o menor grado, a menudo con características residenciales dispersas (Vargas-Bolaños *et al.*, 2020).

En este contexto, la mancha urbana puede comprender zonas con baja densidad edilicia que, sin embargo, se consideran funcionalmente urbanas, como grandes jardines, campos de deporte,

campos de golf, aeropuertos, reservas naturales urbanas, autódromos o grandes predios militares, si su implantación es netamente urbana y lindera a zonas urbanizadas densas (Tejido Urbano, 2023). Incluso los cuerpos de agua se consideran parte de la superficie urbana si sus bordes están urbanizados y su dinámica se integra completamente al funcionamiento de la ciudad (Tejido Urbano, 2023). Desde una perspectiva metodológica, la "mancha urbana" puede equipararse a las "superficies artificiales" en algunas clasificaciones de uso de la tierra, las cuales se cuantifican como el área urbanizada (Humacata, 2022).

El aumento de la mancha urbana, o expansión urbana, se refiere al crecimiento o la extensión de la superficie física urbanizada de una ciudad a lo largo del tiempo (Lanfranchi *et al.*, 2018; Vargas-Bolaños *et al.*, 2020; Tejido Urbano, 2023; Humacata, 2022). Este fenómeno también es denominado "crecimiento de la mancha urbana", "crecimiento del área urbana" o "ampliación de las manchas urbanas" (Vargas-Bolaños *et al.*, 2020; Lanfranchi *et al.*, 2018; Tejido Urbano, 2023).

La cuantificación del aumento de la mancha urbana se logra mediante la comparación de la superficie urbana en diferentes momentos históricos (Vargas-Bolaños *et al.*, 2020; Tejido Urbano, 2023; Humacata, 2022). Metodológicamente, esto implica calcular la diferencia en el área urbana entre un período más reciente y uno anterior, a menudo utilizando técnicas como el álgebra de mapas o la tabulación cruzada de mapas de usos de la tierra generados a partir de imágenes satelitales (Vargas-Bolaños *et al.*, 2020; Humacata, 2022). Representa la "evolución espacial" o la "dinámica espacio-temporal" de los patrones de ocupación de la tierra (Buzai y Baxendale, 2015; Humacata, 2022).

Esta expansión a menudo se manifiesta como "expansión horizontal" o "urban sprawl" (Arellano y Roca, 2010), caracterizándose por la ocupación de grandes espacios vacíos, la proliferación de urbanizaciones cerradas de baja densidad poblacional, y el avance sobre suelos productivos agrícolas o áreas naturales, generando fragmentación del territorio, pérdida de usos tradicionales del suelo y consecuencias ambientales adversas (Tejido Urbano, 2023; Humacata, 2021; Humacata, 2022). Un caso particular de este aumento es la "periurbanización", que consolida y une centros urbanos previamente aislados a la dinámica territorial de las ciudades principales (Vargas-Bolaños *et al.*, 2020). Es importante destacar que un crecimiento acelerado de la mancha urbana puede ocurrir incluso con un menor incremento poblacional, resultando en una disminución de la densidad urbana (Tejido Urbano, 2023; Lanfranchi *et al.*, 2018).

El proceso de urbanización en las últimas décadas ha generado preocupación por sus efectos en la sostenibilidad territorial, manifestándose a través de modelos como la ciudad fragmentada (Humacata, 2021), el crecimiento insular (Janoschka, 2002; Humacata, 2021) y el crecimiento urbano disperso o "urban sprawl" (Arellano y Roca, 2010; Humacata, 2021). Estos modelos se caracterizan por la proliferación de urbanizaciones cerradas de baja densidad con alta accesibilidad a través de redes de autopistas (Humacata, 2021). La periurbanización, entendida como la integración de antiguos núcleos rurales a la dinámica metropolitana, es un resultado de

esta suburbanización, expandiendo la mancha urbana hacia zonas periféricas (Cardoso y Ortiz, 2012; Vargas-Bolaños et al., 2020). Este proceso genera la fragmentación del territorio, la pérdida de usos del suelo tradicionales y un impacto ambiental adverso debido a la disminución de servicios ecosistémicos (Matteucci *et al.*, 2006; Humacata, 2021).

El crecimiento urbano descontrolado y sin planificación genera una serie de problemáticas significativas que afectan la sostenibilidad de las ciudades y la calidad de vida de sus habitantes (Lanfranchi *et al.*, 2018; Orozco *et al.*, 2015). Este tipo de expansión, a menudo descrito como "desordenada y espontánea", puede resultar en ciudades "extensas y difusas" (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007; Lanfranchi *et al.*, 2018). Uno de los problemas más evidentes es la insuficiencia de servicios públicos e infraestructura.

La expansión horizontal de la mancha urbana, común en ciudades argentinas, implica costos crecientes para el Estado y la población en la provisión de servicios urbanos básicos como agua, saneamiento y recolección de residuos (Lanfranchi *et al.*, 2018; Tejido Urbano, 2023). La baja densidad resultante de esta expansión difusa demanda la construcción de redes de infraestructuras más largas, la ampliación de la red de transporte público y mayores distancias para la recolección de residuos, lo que incrementa los gastos del gobierno local (Lanfranchi et al., 2018). En Clorinda, por ejemplo, se identifican carencias en infraestructuras adecuadas, con servicios muy distantes de absorber las demandas actuales y futuras, especialmente en lo que respecta a cloacas, agua potable y desagües pluviales (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007). Se ha señalado que solo alrededor del 30% de la población de Clorinda tiene acceso a cloacas (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007).

La invasión de terrenos naturales y la pérdida de suelo productivo es otra consecuencia directa. La expansión urbana avanza sobre "un bien escaso, el suelo, que cumple funciones importantes para el conjunto de la sociedad: producción de alimentos, recarga de acuíferos, retención de excesos hídricos, entre otras" (Lanfranchi *et al.*, 2018). En ciudades argentinas, esta expansión horizontal suele darse a expensas de suelo productivo agrícola o zonas boscosas (Tejido Urbano, 2023). Esto puede generar conflictos por la competencia espacial entre usos del suelo en la franja urbano-rural, impactando negativamente en coberturas naturales y usos tradicionales (Humacata, 2022; Humacata, 2021). En la cuenca del río Luján, se ha observado el avance urbano sobre usos rurales y cubiertas naturales, así como la expansión de la agricultura sobre otros usos rurales (Humacata, 2022; Humacata, 2021). Además, se menciona la pérdida de bosques producto de la colonización agrícola y la ganadería extensiva en otras regiones (Ruiz *et al.*, 2013; Cuadra, Insaurralde y Montes Galbán, 2020).

El crecimiento sin planificación también conduce a la pérdida de identidad social y a un aumento de la segregación. Las ciudades extensas y difusas, producto de esta dinámica, se caracterizan por una baja densidad, la separación de usos de la tierra y mayores niveles de segregación social (Lanfranchi *et al.*, 2018). Este crecimiento espontáneo de las ciudades ha propiciado el surgimiento de asentamientos informales en zonas de mayor riesgo, por falta de

inclusión social (Orozco *et al.*, 2015). En Clorinda, por su parte, la estructura física construida es muy dispersa y carece de una planificación urbanística clara (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007; Rignonatto, 2006). La Ruta Nacional N°11, por ejemplo, genera un efecto de "seccionamiento y fragmentación" en la ciudad, dividiéndola en dos grandes sectores con conexiones difíciles y peligrosas, especialmente para peatones (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007).

Asimismo, surgen problemas ambientales como la contaminación, por ejemplo, por la inadecuada disposición de residuos sólidos (Orozco *et al.*, 2015). En Clorinda, la contaminación del río es grave debido a los desagües de la ciudad de Asunción sin tratamiento, y las inundaciones periódicas se agravan por el contacto del agua de anegamiento con aguas servidas y excretas, exponiendo a la población a contaminantes (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007).

La vulnerabilidad a desastres también se incrementa. Ciudades en valles intermontanos afectados por erupciones volcánicas y sismos, o con topografías irregulares y terrenos susceptibles a deslizamientos, ven su expansión urbana avanzar hacia áreas de riesgo (VargasBolaños *et al.*, 2020; Orozco *et al.*, 2015; Uribe *et al.*, 2010). En Clorinda, la insistencia en ocupar y consolidar áreas de alto riesgo hídrico en un valle aluvial se describe como "situaciones erróneas técnicamente", agravadas por un sistema de defensas que, si bien protege de inundaciones fluviales, dificulta el escurrimiento de aguas de lluvia (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007).

La necesidad de un crecimiento urbano ordenado y sostenible es, por tanto, fundamental (Ramirez y Blanco, 2016). Esto implica la implementación de políticas urbanas y mecanismos de gestión que aseguren un desarrollo integral e inclusivo (Lanfranchi *et al.*, 2018). Algunas acciones propuestas para promover ciudades más equitativas, sostenibles y con una gestión de servicios eficiente incluyen: Incrementar los Planes de Ordenamiento Territorial (Lanfranchi *et al.*, 2018; Municipio de Clorinda *et al.*, 2007), mejorar el espacio público al interior de las ciudades y promover tipologías de edificación más densas, implementar estrategias de movilización de suelo ocioso dentro de la mancha urbana para ampliar la oferta de suelo donde ya existe infraestructura, incrementar las regulaciones del mercado del suelo, recuperando parte de la valorización inmobiliaria generada por cambios de zonificación o ejecución de obras públicas, lo cual también puede generar recursos para financiar el desarrollo urbano, impulsar políticas que incentiven y apoyen actividades productivas en el periurbano y aplicar regulaciones más estrictas del suelo en la periferia, especialmente aquel que cumple funciones ambientales vitales, evitar la habilitación de suelo fuera de la mancha urbana existente, especialmente si hay suelo ocioso en el interior, establecer directrices de gobernanza metropolitana para abordar la expansión de las ciudades que superan sus límites administrativos y promover incentivos para la construcción de vivienda de interés social dentro de la mancha urbana existente (Lanfranchi *et al.*, 2018).

La planificación del territorio es esencial para mitigar los efectos negativos del crecimiento urbano, ya que permite definir "una visión de ciudad deseada" y enfocar las acciones hacia una mejora en la calidad de vida urbana (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007; Ramirez y Blanco, 2016).

La Geografía Urbana se encarga del estudio de la organización, estructura y función de los espacios urbanos, así como de la dinámica de crecimiento de las grandes ciudades, especialmente en América Latina (Buzai, 2020). El proceso de urbanización en la región se ha acelerado notablemente, llevando a que, para 2015, el 54% de la población mundial residiera en áreas urbanas, con proyecciones de un 60% para 2030 y 66.4% para 2050 (Ramirez y Blanco, 2016). Latinoamérica y el Caribe se han consolidado como la región más urbanizada del mundo en desarrollo, con un 80% de su población viviendo en ciudades (Vargas-Bolaños *et al.*, 2020; Ramirez y Blanco, 2016). Sin embargo, este crecimiento acelerado y a menudo desordenado impide la reducción de las desigualdades y conlleva, como hemos mencionado, una serie de problemáticas (Ramirez y Blanco, 2016), que resultan de sumo interés para la ciencia geográfica, y que, en base a los antecedentes, estas problemáticas se han agravado, lo que demanda la necesidad de generar conocimientos geográficos con una clara convicción sobre la relevancia de la dimensión espacial en los procesos territoriales y ambientales.

Geografía Aplicada y TIG

La Geografía se presenta como la disciplina con mayor potencial para el estudio de los patrones de distribución espacio-temporal a través de su postura cuantitativa y racionalista, la cual permite realizar aportes orientados en los conceptos de localización, distribución espacial, asociación espacial, interacción espacial y evolución espacial. La metodología de análisis espacial apoyado en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en el marco de la Geografía Aplicada (Stamp, 1981; Philipponneau, 2001), se orienta en la búsqueda de generalidades y regularidades en el comportamiento espacial y permite llegar a modelizaciones con la finalidad de explicar y predecir patrones espaciales (Buzai y Baxendale, 2013). El enfoque temporal, desde el análisis espacial cuantitativo (Buzai, 2010), pretende captar las variaciones de las distribuciones espaciales en el tiempo. En este sentido, se han realizado interesantes avances orientados al análisis y modelización espacio-temporal (Aguilera Ontiveros, 2002; Batty, 2005; Buzai y Baxendale, 2011), entre los cuales podemos mencionar aquellos enfocados en la dinámica urbana y modelos de cambios de usos del suelo a diferentes escalas espaciales. De esta manera, se puede proceder a partir de un análisis histórico y prospectivo. En el primer caso, se busca conocer la evolución pasada de las configuraciones espaciales actuales. Para ello, se ha propuesto la metodología de detección de cambios de usos del suelo (Pontius *et al.*, 2004), cuya aplicación se encuentra en numerosos trabajos de investigación a nivel nacional e internacional que han obtenido interesantes resultados (Martínez Vega *et al.*, 2008; Plata Rocha *et al.*, 2009; Ramírez y Pértile, 2013; Lara, 2014; Humacata, 2017; Cardozo *et al.*, 2021), aplicando la metodología de detección de cambios en diversos contextos:

– Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA): Se ha estudiado el crecimiento de los Grandes Aglomerados Urbanos (GAUs) argentinos, donde el área urbana crece significativamente por encima del incremento poblacional, consumiendo suelo escaso con funciones vitales (Lanfranchi *et al.*, 2018). Entre 2018 y 2023, la superficie urbanizada de 34 aglomerados urbanos más poblados de Argentina aumentó un 4.2%, equivalente a casi 5,000 hectáreas por año (Tejido Urbano, 2023). La expansión urbana en la cuenca del río Luján, parte de la RMBA, ha sido analizada entre 1990 y 2010, evidenciando cómo el avance urbano, en sus distintas modalidades, se expande sobre usos rurales y cubiertas naturales (Principi, 2016; Buzai *et al.*, 2017; Humacata, 2022).

– Ciudades Centroamericanas: Se ha determinado el crecimiento de la mancha urbana en las capitales de la región entre 1975 y 2014, revelando que el área urbana casi se triplicó en 40 años debido a la periurbanización (Vargas-Bolaños *et al.*, 2020; Orozco *et al.*, 2015). Ejemplos específicos incluyen Managua, que desde 1975 inició un proceso de conurbación; San Salvador, cuya mancha urbana de 12,400 Ha para 2014 evidenció crecimiento hacia áreas protegidas; Tegucigalpa, que experimentó una explosión demográfica y déficit de servicios públicos desde los años 50, agravado por desastres naturales; Ciudad de Guatemala, que desde 1975 ha consolidado su metropolización; y Ciudad de Panamá, cuya expansión ha sido impulsada por el Canal y la red vial (VargasBolaños *et al.*, 2020; Uribe *et al.*, 2010; Orozco *et al.*, 2015).

– Provincia de Formosa, Argentina: En Formosa, el proceso de urbanización se ha acelerado en los últimos años, con una fuerte concentración de la población en la ciudad capital, donde en 1991 se localizaba el 54.7% de la población urbana total de la provincia (Ramirez y Blanco, 2016). La ciudad de Clorinda es un ejemplo clave de esta dinámica de crecimiento en la provincia, caracterizado por su desarrollo en un valle aluvial (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007; Rigonatto, 2006).

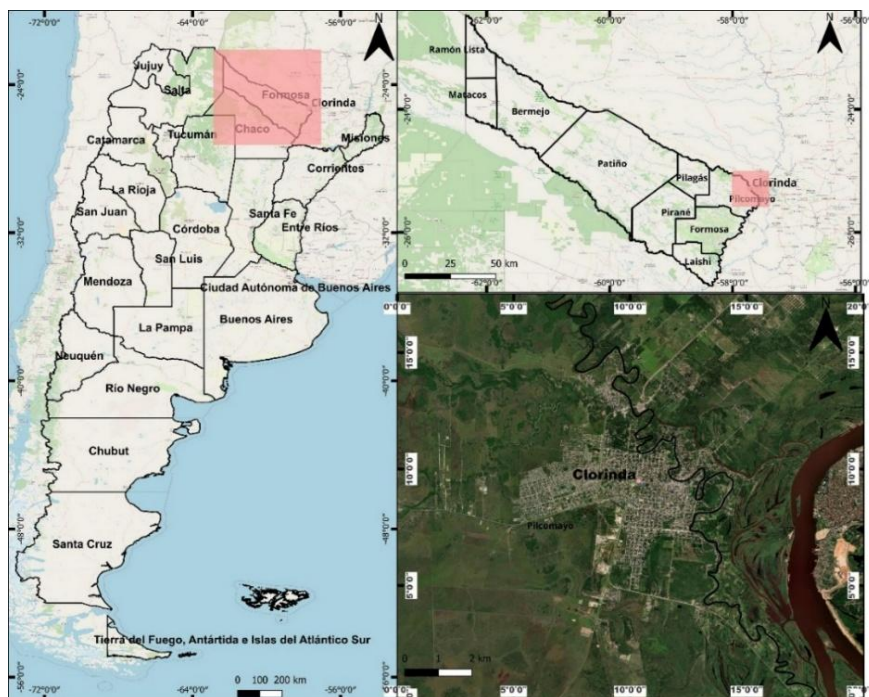
El diagnóstico territorial de la situación pasada y presente nos permite avanzar hacia la generación de escenarios a futuro, considerando a la Geografía como una ciencia prospectiva. En este sentido, el avance hacia la modelización espacial prospectiva permite determinar cuáles son los sitios más aptos para el crecimiento urbano, es decir, aquellos sitios que minimizan el conflicto entre usos del suelo (Malczewski, 1999; Gómez Delgado y Barredo Cano, 2006; Principi, 2016), donde es posible que la ciudad se expanda sin comprometer el desarrollo de espacios productivos y ecosistemas naturales (Xie y Sun, 2000; Aguilera Benavente *et al.*, 2009; Gómez Delgado y Rodríguez Espinosa, 2012; Linares, 2015; Salazar Proaño, 2020; Gómez, 2021). De esta manera, se plasma uno de los objetivos principales de la Geografía con carácter aplicado, para lograr un desarrollo territorial sostenible en el marco del ordenamiento territorial a escala urbano-regional. En este sentido, y en base a los antecedentes, la presente investigación pretende realizar como aporte a la temática, la generación de conocimientos científicos orientados a determinar la dinámica de coberturas y usos del suelo en la ciudad de Clorinda y

su espacio circundante, en un periodo temporal que abarca los años 1985 a 2022, a partir de cartografía temática e indicadores cuantitativos que nos permiten obtener un diagnóstico de la evolución histórica de la ocupación del territorio.

Área de estudio

Clorinda se sitúa al extremo noreste de la República Argentina en la Provincia de Formosa, colindando con la República del Paraguay, específicamente frente a la ciudad de Asunción, sobre la margen derecha del brazo sur del río Pilcomayo. La ciudad forma parte del departamento Pilcomayo, uno de los más densamente poblados de la provincia. Clorinda es un enclave estratégico debido a su ubicación fronteriza, lo que la hace vital para el intercambio de bienes y servicios entre Argentina y Paraguay (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007; Ramirez y Blanco, 2016). Las principales vías de acceso son la Ruta Nacional N°11, que la conecta con la capital provincial, Formosa, a 116 km de distancia, y la Ruta Nacional N°86, que se extiende hacia el noroeste. La Ruta N°11, como se mencionó en la introducción genera un efecto de división territorial.

Figura N°1: Localización de la ciudad de Clorinda



Fuente: Elaboración del autor.

La población de Clorinda ha mostrado un crecimiento sostenido a lo largo de las décadas, según datos censales del INDEC en 1950, su población estimada era de 10.443 habitantes (Rigonatto, 2006), que aumentaron a 16.125 en 1970, 21.008 en 1980, 37.592 en 1991, 47.004 en 2001, y 52.837 en 2010 (Ramírez y Blanco, 2016; PEDL_clorinda, 2007). El proceso de crecimiento demográfico fue particularmente acentuado entre 1980 y 1991, con un incremento del 90%,

aunque el ritmo de aumento se desaceleró a un 17% entre 1991 y 2001, y a un 12% entre 2001 y 2010 (Ramírez y Blanco, 2016). A pesar del crecimiento en términos absolutos, Clorinda experimentó una disminución del 4.1% en su densidad poblacional entre 2018 y 2023, lo que se atribuye a una expansión territorial que superó el ritmo de crecimiento demográfico (6.54% en el mismo período) (Tejido Urbano, 2023). La ciudad de Clorinda es la segunda en importancia numérica en la provincia, y en 1991, junto con Formosa capital y Pirané, concentraba el 74% de la población urbana de la provincia (INDEC, 1999b). La composición demográfica de Formosa, y por ende de Clorinda, ha sido influenciada por la inmigración, principalmente de población paraguaya, atraída por nuevas fuentes laborales o expulsada de su país por situaciones político-económicas adversas.

La estructura urbana es descrita como imprecisa y dispersa, con congestión localizada en el puente San Ignacio de Loyola y carencia de un sistema vial urbano jerarquizado (Rigonatto, 2006). El crecimiento de Clorinda ha sido desordenado y espontáneo, asentándose sobre un valle fluvial y consolidando defensas que, si bien protegen, también han impedido el drenaje natural, llevando a la ocupación de áreas de alto riesgo hídrico (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007). Se ha señalado la necesidad de una zonificación categorizada que regule el uso de la tierra, especialmente en relación con el riesgo hídrico (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007).

En el caso de Clorinda, la expansión urbana ha sido descrita como un proceso que siguió las vías de comunicación principales, como la Ruta Nacional N°11 hacia el Sur y la Ruta Nacional N°86 y la avenida que conecta con el Puente Internacional Loyola hacia el Oeste (Rigonatto, 2006). El desarrollo inicial de la ciudad fue espontáneo en su microcentro (Rigonatto, 2006). La ciudad ha mostrado una ocupación variada, con el microcentro de función netamente comercial y bancaria, y una densidad poblacional menor que en las áreas residenciales, las cuales son la función urbana más extensa (Rigonatto, 2006). Los barrios de FONAVI construidos después de la inundación de 1983, por ejemplo, tienen una alta densidad poblacional y cuentan con todos los servicios básicos (Rigonatto, 2006). Sin embargo, otras zonas periféricas, como los asentamientos en el acceso a Puerto Pilcomayo, solo cuentan con servicios muy básicos como electricidad y agua potable, con calles de tierra y desagües a cielo abierto (Rigonatto, 2006).

El crecimiento urbano de Clorinda ha catalizado una transformación territorial acelerada, marcada por particularidades geográficas y decisiones de planificación. La ciudad se asienta sobre un valle aluvial, y su fundación y consolidación sobre esta geografía ha sido calificada como un "error técnicamente" en la ocupación racional del territorio (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007). Un segundo "error estructural" fue la construcción de barreras de defensa contra inundaciones en 1983, las cuales, aunque buscan proteger, han dificultado el escurrimiento de las aguas de lluvia, provocando inundaciones periódicas por acumulación de agua en zonas bajas dentro del recinto defensivo. Se ha verificado una persistencia en la ocupación y consolidación de áreas de alto riesgo hídrico (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007).

La infraestructura actual de la ciudad es considerada exigua frente a la demanda y las necesidades a largo plazo, especialmente en cuanto a los sistemas cloacales y de desagües pluviales. Esto, junto con la contaminación del río, expone a la población a aguas contaminadas durante las inundaciones (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007).

En el contexto más amplio de las ciudades latinoamericanas, el crecimiento acelerado de la urbanización, impulsado por migraciones del campo a la ciudad, ha llevado a la "periurbanización", donde las ciudades se extienden y fragmentan hacia zonas periurbanas, absorbiendo antiguos núcleos rurales (Vargas-Bolaños *et al.*, 2020). Este proceso genera consecuencias negativas como asentamientos informales en áreas de riesgo, deficiencias en el transporte público, y falta de infraestructura (Vargas-Bolaños *et al.*, 2020). La necesidad de planificación territorial y ordenamiento urbano es crucial para abordar estos desafíos y fomentar un desarrollo sostenible (Lanfranchi *et al.*, 2018; Municipio de Clorinda *et al.*, 2007).

Materiales y Métodos

Para el presente estudio, se optó por utilizar como base el sistema de clasificación de MAPBIOMAS, incorporando ajustes necesarios para adaptarlo a las particularidades de la zona investigada. Se definió así una estructura jerárquica (Cuadro N°1) organizada en dos niveles. El nivel más general (Nivel 1) agrupa la cobertura del suelo en cinco grandes grupos temáticos: 1) Vegetación natural leñosa, 2) Área agropecuaria, 3) Área sin vegetación, 4) Cuerpo de agua, y 5) Vegetación natural herbácea. El nivel 2 ofrece mayor detalle: despliega once clases distintas. El análisis de cambios aquí presentado se centrará específicamente en las transiciones ocurridas entre las nueve categorías del Nivel 2.

Cuadro N°1. Categorías de análisis.

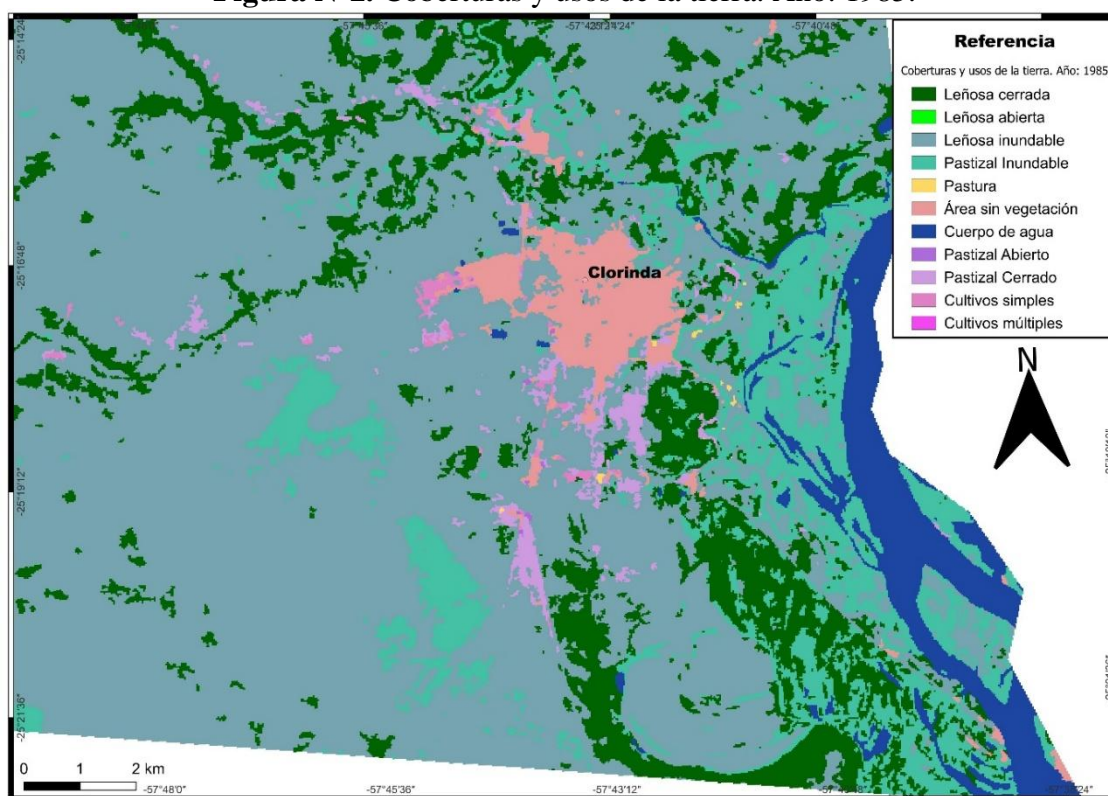
	Nivel 1	Nivel 2	Definición
Definición de categorías amplias	Vegetación natural leñosa	Leñosa cerrada	Áreas con vegetación natural formada por árboles, arbustos o una mezcla de ambos, con una cobertura superior o igual a 65%.
		Leñosa abierta	Áreas con vegetación natural formada por árboles, arbustos o una mezcla de ambos, con una cobertura superior o igual al 20% y menor al 65%.
		Leñosa inundable	Áreas de transición entre los sistemas terrestres y acuáticos puros, donde la capa freática se encuentra por lo general en la superficie o cercana a ella (áreas encharcadas). La cobertura vegetal natural formada por árboles, arbustos o una mezcla de ambos está influenciada significativamente por el agua y/o depende de inundaciones.
	Área agropecuaria	Pastura	Áreas con cultivos de especies herbáceas con destino forrajero (producción animal)

		Cultivos Simples	Áreas con un único cultivo por estación de crecimiento.
		Cultivos Múltiples	Áreas con dos o más cultivos por estación de crecimiento.
	Área sin vegetación		Áreas con densidad significativa de edificios y carreteras, incluidas áreas abiertas de construcciones e infraestructura.
	Cuerpo de agua		Áreas con presencia de agua en superficie de forma permanente. Incluye arroyos, ríos, lagunas, lagos naturales y artificiales.
	Vegetación natural herbácea	Pastizal Cerrado	Áreas con vegetación natural formada por herbáceas con una cobertura igual o superior al 65%. En esta categoría se admite la presencia de leñosas, pero las mismas deben encontrarse en coberturas comprendidas entre el 1-5 y 20%.
		Pastizal Inundable	Áreas de transición entre los sistemas terrestres y acuáticos puros, donde la capa freática se encuentra por lo general en la superficie o cercana a ella (áreas encharcadas). La cobertura vegetal natural formada por herbáceas está influenciada significativamente por el agua y/o depende de inundaciones (ej.: esteros, bañados, cañadas, pantanos y lechos acuáticos).
		Pastizales abiertos	Áreas con vegetación natural formada por herbáceas con una cobertura igual o superior al 20% y menor al 65%. En esta categoría se admite la presencia de leñosas, pero las mismas deben encontrarse en coberturas comprendidas entre el 1-5 y 20%.

Fuente: Elaboración propia en base a MapBioma.

La producción de mapas temáticos bajo criterios metodológicos uniformes posibilita la creación de cartografías con un alto grado de coincidencia espacial al superponerlas (Humacata, 2022). En este marco, se desarrollaron bases geográficas digitales en formatos ráster, proporcionando un conjunto de mapas de referencia y temáticos destinados a integrarse en análisis cartográficos sintéticos. Como parte de este proceso, se generaron específicamente dos mapas de cobertura y uso de la tierra correspondientes a los años 1985 y 2022, con sus respectivos cuadros de cuantificación en hectáreas por categorías.

Figura N°2. Coberturas y usos de la tierra. Año: 1985.



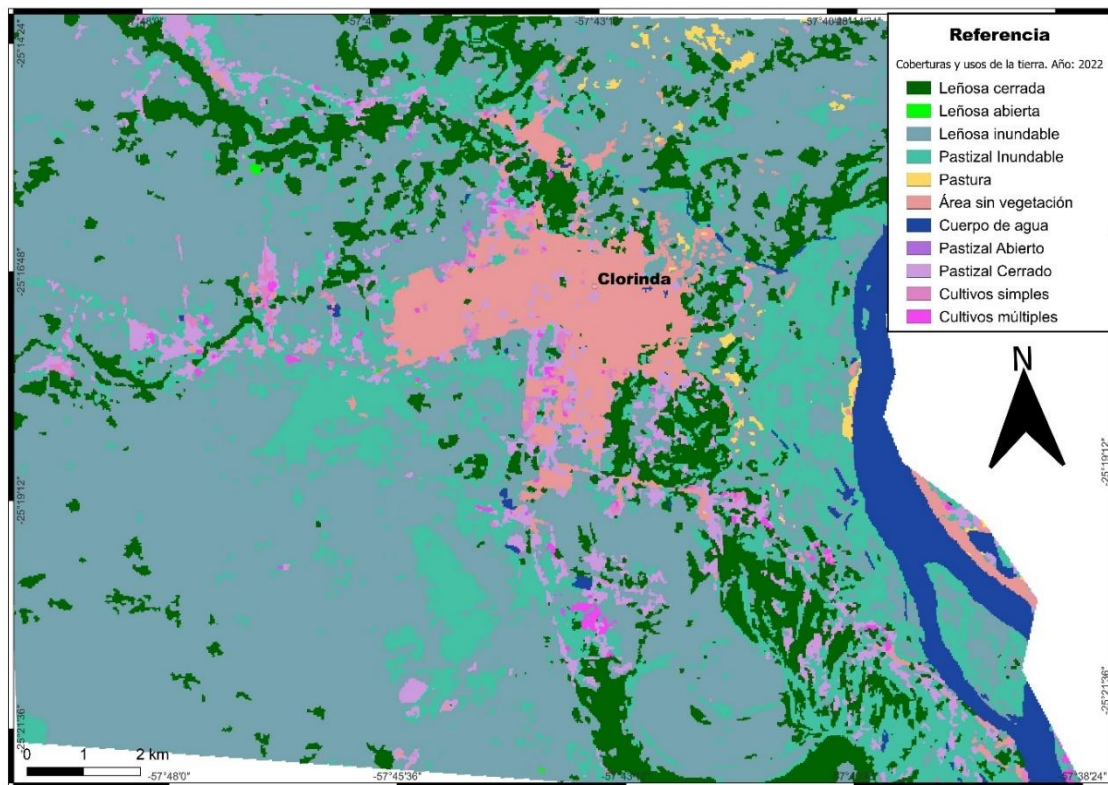
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N°2. Cuantificación por Categorías.

Año 1985	
Hectáreas	Leyenda
3417.328067	Leñosa cerrada
15897.29281	Leñosa inundable
0	Leñosa abierta
2899.255568	Pastizal Inundable
9.566623	Pastura
734.843543	Área sin vegetación
1258.214447	Cuerpo de agua
6.97184	Pastizal Abierto
379.099374	Pastizal Cerrado
79.458102	Cultivos simples
0	Cultivos Múltiples

Fuente: Elaboración propia en base a complementos de TerrSet

Figura N°3. Coberturas y usos de la tierra. Año: 2022



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N°3. Cuantificación por Categorías.

Año 2022	
Hectáreas	Leyenda
3075.215295	Leñosa cerrada
6.243531	Leñosa abierta
13681.60553	Leñosa inundable
4068.869511	Pastizal Inundable
94.796284	Pastura
1450.862463	Área sin vegetación
1003.233755	Cuerpo de agua
0	Pastizal Abierto
1071.206774	Pastizal Cerrado
127.453093	Cultivo simple
102.544138	Cultivo múltiple

Fuente: Elaboración propia en base a complementos de TerrSet

Metodología de detección de cambios

La superposición cartográfica es una herramienta clave para analizar cambios espacio-temporales en los usos de la tierra. Esta metodología identifica la evolución de patrones espaciales mediante la correspondencia temática entre distintos periodos (Buzai y Baxendale, 2011). Al cruzar dos mapas de usos de la tierra de fechas diferentes, en este caso 1985 y 2022, se detectan transiciones y permanencias de categorías.

La metodología de detección de cambios ha sido desarrollada por Pontius *et al.* (2004), y es clave para analizar la evolución espacial. Los procedimientos parten de la tabulación cruzada de dos mapas, lo que genera la denominada matriz de cambios. La matriz se organiza en filas y columnas (Tabla N°1). En las primeras se encuentran representadas las categorías del mapa del corte temporal 1 (T1), y en las columnas están las categorías del segundo corte temporal (T2). En la diagonal de la matriz (señalado en color gris) se encuentran representadas las superficies que han permanecido estables entre los dos cortes temporales, mientras que fuera de la matriz se encuentran las superficies de cada categoría que presentan transiciones a otras categorías desde tiempo 1 al tiempo 2. Las columnas Total T1 y Total T2 recogen la suma de cada categoría para cada año respectivamente. A ello se suma la columna referida a las pérdidas de superficie de cada categoría entre los dos cortes temporales, y la fila de las ganancias que cada categoría obtuvo en el periodo analizado.

Tabla N°1. Matriz de tabulación cruzada.

Categorías	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría n	Total T1	Pérdidas
Categoría 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{1n}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
Categoría 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{2n}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
Categoría 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{3n}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
Categoría n	P_{n1}	P_{n2}	P_{n3}	P_{nn}	P_{n+}	$P_{n+} - P_{nn}$
Total T2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+n}	1	
Ganancias	$P_{+1}-P_{11}$	$P_{+2}-P_{22}$	$P_{+3}-P_{33}$	$P_{+n}-P_{nn}$		

Fuente: Elaboración propia en base a Pontius *et al.* (2004).

Dicha matriz permite calcular indicadores clave para cuantificar, como ser ganancias y pérdidas por categoría, cambio neto (balance categorial) y cambio total (dinámica agregada), intercambios entre coberturas y usos de la tierra (Plata Rocha *et al.*, 2009). A continuación, se presentan las definiciones de estos parámetros:

- Ganancias: se obtienen a partir de la diferencia de la suma total del tiempo 2 (T2) y el valor de la diagonal correspondiente a cada categoría.
- Pérdidas: se obtienen a partir de la diferencia de la suma total del tiempo 1 (T1) y el valor de la diagonal correspondiente a cada categoría.
- Cambio neto: este valor se obtiene a partir de la diferencia de las pérdidas y las ganancias de cada categoría.

- Intercambio: se define como el doble del valor mínimo de las ganancias o las pérdidas.
- Cambio total: es el resultado de la suma de las ganancias y las pérdidas.

Otro de los resultados de esta metodología es la obtención de cartografía dinámica, que se constituye en una herramienta para analizar los cambios en las configuraciones espaciales en un periodo determinado. De este modo, es posible el descubrimiento de la evolución de los patrones de distribución espacial de cada categoría. En suma, esta metodología es útil para obtener un diagnóstico de la evolución histórica de la ocupación del suelo y para la planificación territorial.

Resultados

Del análisis de la tabla N°2, se muestra un Chi-cuadrado extremadamente alto (1,210,251.6250); esto indica una desviación significativa de la independencia, confirmando que los cambios en las categorías de uso de suelo entre 1985 y 2022 son altamente sistemáticos. Con p-value = 0.0000, confirma cambios muy significativos en el uso del suelo entre 1985 y 2022. Es importante resaltar que el V de Cramer = 0.5313: Indica una asociación moderadamente fuerte entre las clasificaciones de ambos años, (valores >0.5 son considerados altos). También es pertinente aclarar que existe un margen de error con estas aplicaciones; si bien se pretende ser lo más acertado posible, para ello se realizaron trabajos de comprobación satelital y comprobación in situ, para reducir el error lo máximo posible.

Tabla N°2. Matriz de tabulación cruzada (1985-2022).

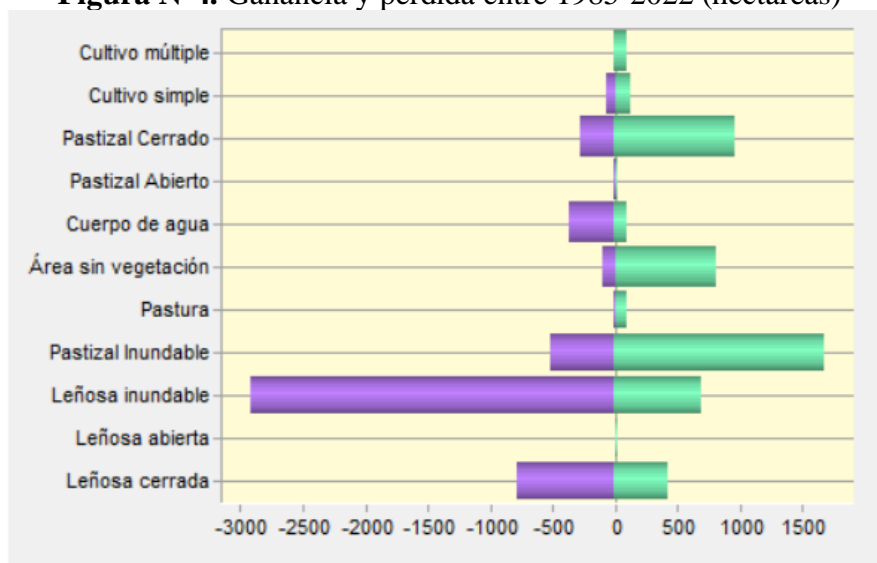
Categoría	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
1	32504	0	3631	750	0	281	173	8	560	23	0	37930
2	0	0	77	0	0	0	0	0	0	0	0	77
3	3267	0	160026	2689	73	215	1372	13	1020	84	0	168759
4	3196	0	14014	29335	5	63	2696	0	834	49	0	50192
5	16	0	823	318	1	2	9	0	0	0	0	1169
6	319	0	7077	922	17	7885	168	39	826	641	0	17894
7	290	0	301	766	0	35	10963	0	22	0	0	12377
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	2201	0	8314	858	22	411	47	16	1219	125	0	13213
10	44	0	1156	46	0	115	30	10	127	44	0	1572
11	314	0	666	82	0	56	65	0	68	14	0	1265
Total	42151	0	196085	35766	118	9063	15523	86	4676	980	0	389865
Chi-square = 1,210,251.6250, df = 121, P-Level = 0.0000, Cramer's V = 0.5313												

La evolución urbana para el periodo en análisis (3 décadas aproximadamente) muestra categorías de usos que presentaron cambios significativos que impactaron en la dinámica de ocupación de la tierra para la ciudad de Clorinda. Es importante aclarar que todas las categorías de cambios de usos de la tierra presentaron cambios.

Entre los cambios más importantes, como se observa en la figura N°4, gráfico de ganancias y pérdidas entre periodos, se destacan 4 categorías; el Pastizal cerrado¹: pierde casi -500 ha. y gana 1000 ha., el caso de área sin vegetación²: que gana casi 1000 ha. pastizal inundable³ gana más de 1500 ha. y pierde casi -700 ha. por último: leñosa inundable⁴ perdió casi -3000 ha. y gana 600 ha. aproximadamente.

La Figura N°4 no solo cuantifica las ganancias y pérdidas, sino que también revela patrones subyacentes de transformación territorial. El pastizal cerrado, con una ganancia de aproximadamente 1000 ha y una pérdida de 500 ha, sugiere un proceso de fragmentación y recuperación de áreas herbáceas, posiblemente debido a fluctuaciones en las prácticas ganaderas o a cambios hidrológicos. El área sin vegetación, con una ganancia neta de casi 1000 ha, refleja directamente la expansión urbana e infraestructura, impulsada por el crecimiento poblacional y la demanda de suelo para viviendas y servicios. El pastizal inundable, con una ganancia de 1500 ha. y una pérdida de 700 ha, indica una dinámica de invasión de áreas anegables por especies herbáceas, posiblemente relacionada con cambios en el régimen hídrico o con el abandono de tierras. La leñosa inundable, con una pérdida de 3000 ha. y una ganancia de 600 ha, evidencia una degradación severa de humedales leñosos, cruciales para la regulación hídrica y la biodiversidad. Esta categoría es particularmente vulnerable debido a su ubicación en llanuras aluviales, donde la urbanización y la agricultura ejercen presión constante.

Figura N°4. Ganancia y perdida entre 1985-2022 (hectáreas)



¹ Áreas con vegetación natural formada por herbáceas con una cobertura igual o superior al 65%. En esta categoría se admite la presencia de leñosas, pero las mismas deben encontrarse en coberturas comprendidas entre el 1-5 y 20%.

² Áreas con densidad significativa de edificios y carreteras, incluidas áreas abiertas de construcciones e infraestructura.

³ Áreas de transición entre los sistemas terrestres y acuáticos puros, donde la capa freática se encuentra por lo general en la superficie o cercana a ella (áreas encharcadas). La cobertura vegetal natural formada por herbáceas está influenciada significativamente por el agua y/o depende de inundaciones (ej.: esteros, bañados, cañadas, pantanos y lechos acuáticos).

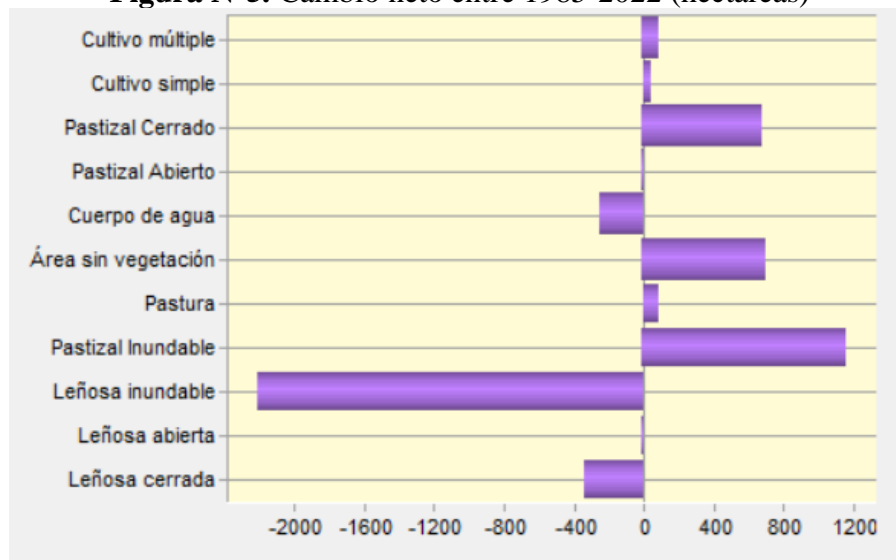
⁴ Áreas de transición entre los sistemas terrestres y acuáticos puros, donde la capa freática se encuentra por lo general en la superficie o cercana a ella (áreas encharcadas). La cobertura vegetal natural formada por árboles, arbustos o una mezcla de ambos está influenciada significativamente por el agua y/o depende de inundaciones.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al cambio neto, que se refiere a la diferencia entre ganancia y pérdida, como se observa en la figura N°5, el Pastizal inundable gana 1200 ha., pastizal cerrado y área sin vegetación ambas cerca de las 800 ha de ganancia neta, el caso de la leñosa inundable con una pérdida neta de más de -2000 ha. Esta última categoría, que coincide con áreas que son propensas a las inundaciones y acumulación de precipitaciones, presenta la mayor pérdida en superficie.

Este cambio neto sintetiza la dirección de las transformaciones territoriales. La ganancia neta de 1200 ha en pastizal inundable sugiere una expansión de áreas anegables herbáceas, posiblemente como resultado de la inundación de tierras previamente drenadas. Las ganancias netas de aproximadamente 800 ha en pastizal cerrado y área sin vegetación indican una dualidad: por un lado, la recuperación de pastizales naturales en algunas zonas, y por otro, la irreversible urbanización de suelos productivos. La pérdida neta de más de 2000 ha en leñosa inundable es alarmante, ya que esta categoría representa ecosistemas de humedal que actúan como amortiguadores contra inundaciones. Su reducción implica una mayor exposición a riesgos hídricos para la población, especialmente en un contexto de eventos climáticos extremos. Esta pérdida neta refleja una tendencia hacia la simplificación de ecosistemas complejos, y más aún si sobre estas áreas avanzan las áreas urbanas.

Figura N°5. Cambio neto entre 1985-2022 (hectáreas)



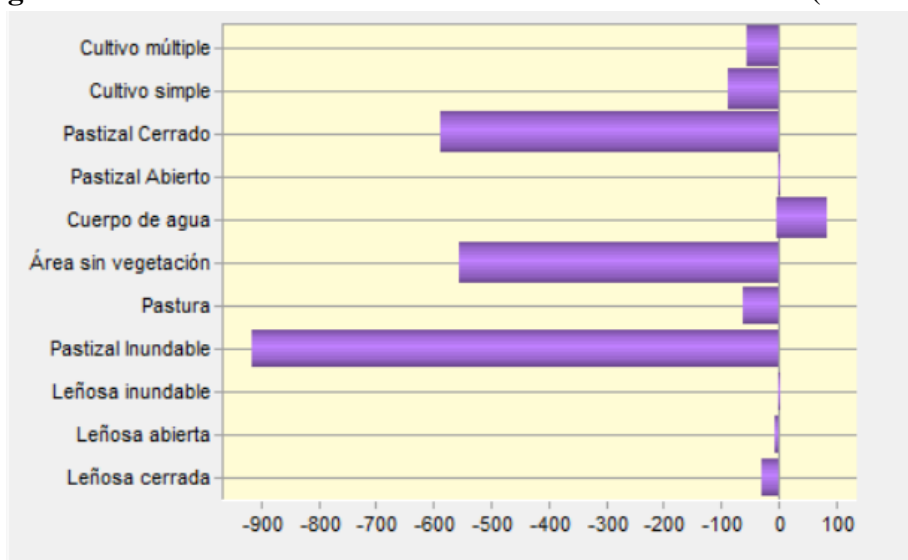
Fuente: Elaboración propia.

La figura N°6, que hace referencia a qué categorías contribuyeron al cambio neto sobre la leñosa inundable, se interpreta que; el pastizal inundable y pastizal cerrado le ganaron superficie a la leñosa inundable, hecho que es esperable ya que por definición pertenece a las mismas características ecológicas de la región.

La categoría de área sin vegetación le ganó un promedio de 700 ha. a la leñosa inundable, este dato es de suma importancia para interpretar riesgos ambientales que tiene la ciudad de Clorinda, ya que, teniendo en cuenta el gráfico, un alto porcentaje de la superficie urbana - mayoritariamente- se asentó sobre áreas propensas a inundaciones.

Esta figura detalla cómo otras categorías contribuyeron a la pérdida neta de leñosa inundable. La transición a pastizal inundable y pastizal cerrado puede atribuirse a procesos naturales de sucesión ecológica o a cambios inducidos por el hombre, como el desmonte para pastoreo. Sin embargo, la ganancia de 700 ha por parte del área sin vegetación sobre leñosa inundable es crítica, ya que representa la urbanización directa de humedales. Esto no solo aumenta el riesgo de inundaciones, sino que también fragmenta hábitats esenciales para la fauna acuática y migratoria. Geográficamente, estas transiciones probables se concentran en las periferias este y sureste de Clorinda, donde los suelos son más inundables y la presión urbana es alta debido al bajo costo del suelo. Este patrón coincide con la falta de zonificación adecuada y la permisividad en el uso de áreas de riesgo.

Figura N°6. Contribuciones al cambio neto en leñosa inundable (hectáreas)



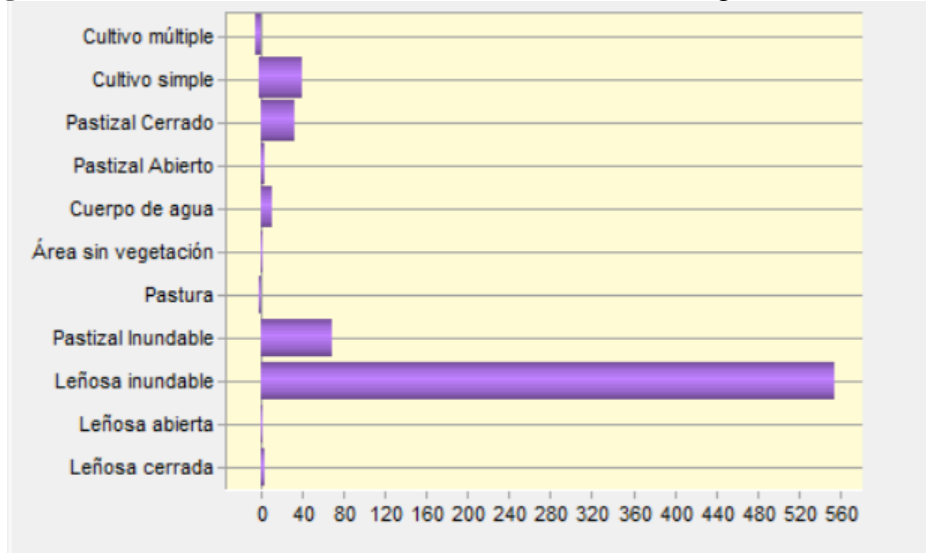
Fuente: Elaboración propia.

La figura N°7 confirma la hipótesis planteada anteriormente, hace referencia a la contribución al cambio neto en área sin vegetación, se ve como la categoría área sin vegetación gana superficie en todas las categorías, pero sobre todo a la categoría de leñosa inundable más de 500 ha., con esto se confirma que la expansión del área sin vegetación se dio principalmente a expensas de ecosistemas naturales, especialmente leñosa inundable (más de 500 ha) y pastizal inundable.

Esta conversión refleja un modelo de desarrollo urbano que prioriza la expansión horizontal sobre la conservación ambiental. La ganancia de superficie desde leñosa inundable es particularmente preocupante porque ocurre en zonas con alto riesgo de inundaciones fluviales

y pluviales, donde la infraestructura de defensa existente es insuficiente. Además, la transición desde pastizal inundable sugiere que áreas previamente utilizadas para usos agropecuarios extensivos están siendo urbanizadas, lo que podría indicar una competencia creciente entre usos del suelo. Socioeconómicamente, esto a menudo resulta en asentamientos informales o barrios de bajos ingresos, donde los residentes enfrentan mayores vulnerabilidades debido a la falta de servicios básicos y la exposición a peligros ambientales.

Figura N°7. Contribuciones al cambio neto en área sin vegetación (hectáreas)



Fuente: Elaboración propia.

Por lo que se puede inferir que la expansión urbana de la ciudad de Clorinda tiene una influencia neta sobre áreas anegables por inundaciones del tipo fluvial y pluvial, ya que también ganó superficie a pastizal inundable, confirmando la falta de planificación de la expansión urbana que existe en la ciudad.

Estos resultados cuantitativos no solo confirman la magnitud del cambio, sino que también invitan a un análisis cualitativo de sus causas y consecuencias. El patrón de crecimiento observado—priorizando la expansión horizontal sobre suelos de alto riesgo—responde a una compleja interacción de factores. Por un lado, la presión demográfica sostenida (un aumento del ~90% en la población entre 1980-1991, según Ramírez y Blanco, 2016) creó una demanda urgente de suelo urbano, que a menudo se aborda mediante asentamientos informales o desarrollos de viviendas de bajo costo en el único terreno disponible: la periferia barata y propensa a inundaciones. Por otro lado, la rentabilidad económica inmediata de lotear terrenos sin una adecuada evaluación de riesgo, combinada con la debilidad de los marcos normativos y de planificación urbana (Municipio de Clorinda *et al.*, 2007), incentivó este modelo de desarrollo insostenible.

Además, el análisis de la tasa de cambio anualizada revela que la transformación no fue constante. Cruzando los datos cuantitativos con hitos históricos, se deduce que el período posterior a la gran inundación de 1983 y la subsecuente construcción de barrios FONAVI en áreas topográficamente más altas al oeste (Rigonatto, 2006) marcó un punto de inflexión, acelerando significativamente la pérdida de "leñosa inundable" y su reemplazo por "área sin vegetación". Este dato sugiere que las propias medidas correctivas ante desastres pueden, paradójicamente, catalizar procesos de ocupación del suelo que replican o incluso amplifican la vulnerabilidad original en nuevas áreas.

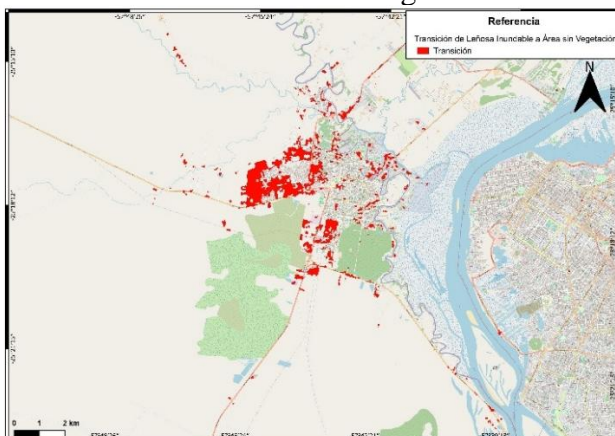
Finalmente, es crucial resaltar la dimensión social de la vulnerabilidad. Los mapas de transición no solo muestran un cambio de cobertura de la tierra, sino también la probable localización de poblaciones socioeconómicamente vulnerables en las zonas de mayor riesgo (como el sureste), quienes, con menor capacidad de adaptación y respuesta, cargan con el mayor peso de los impactos ambientales aquí documentados (inundaciones, contaminación).

Análisis cartográfico

La cartografía temática (figura N°8) presenta las áreas donde se dio la transición de leñosa inundable a área sin vegetación; esta, junto con la figura N°9 que hace referencia a la ganancia de área sin vegetación, muestran y comprueban la hipotética conclusión de que la planificación urbana no tuvo en cuenta el anegamiento de las áreas de expansión.

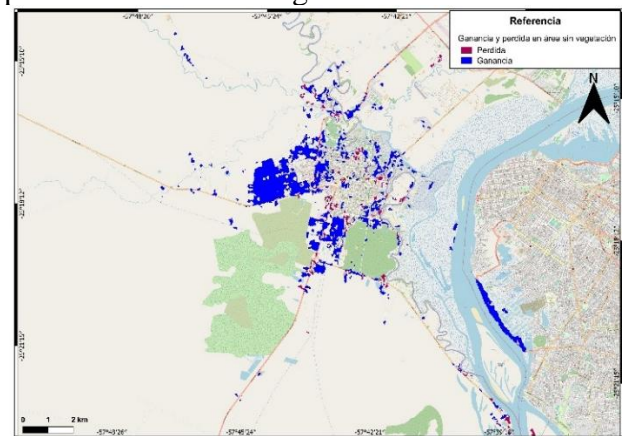
Como se observa, la expansión urbana de la ciudad de Clorinda tiene marcado un sentido oeste y sur, siguiendo las principales vías de comunicación (Ruta). Las áreas de transición entre estas categorías presentes en el este y sur-este son las que preocupan, ya que, como se explicó, están sobre suelos anegables; esto se agrava ya que al este de la ciudad el límite físico es el Río Paraguay que por su posición meandrosa, el valle de inundación abarca todo el este y sur-este de la ciudad.

Figura N°8. Cartografía temática: Transición de Leñosa inundable a Área sin vegetación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°9. Cartografía temática: Ganancia y pérdida en Área sin vegetación.



Fuente: Elaboración propia.

Las Figuras N°8 y N°9 proporcionan una visualización espacial detallada de las transiciones clave. La Figura N°8 muestra que la transición de leñosa inundable a área sin vegetación se concentra en el este y sureste de Clorinda, coincidiendo con el valle de inundación del río Paraguay. Esta área es morfológicamente propensa a anegamientos, y la urbanización aquí exacerbó los riesgos existentes. La Figura N°9 revela que la ganancia de área sin vegetación sigue un patrón radial a lo largo de las rutas nacionales N°11 y N°86, confirmando que la expansión urbana está dirigida por la accesibilidad vial y no por consideraciones de seguridad hídrica. La dirección oeste y sur de la expansión refleja la búsqueda de terrenos más elevados después de la inundación de 1983, pero también incluye áreas bajas en el sur, donde los suelos son más baratos, pero más vulnerables.

La fragmentación de las áreas verdes y la conexión de manchas urbanas discontinuas son evidentes, lo que sugiere un crecimiento en parches que dificulta la provisión de servicios públicos y aumenta los costos de infraestructura. Además, la proximidad de estas nuevas áreas urbanas al río Paraguay plantea desafíos adicionales de contaminación y gestión de recursos hídricos, especialmente durante crecidas.

Consideraciones finales

El presente estudio evidencia que Clorinda, segunda ciudad en importancia de Formosa (Argentina), experimentó un proceso de expansión urbana acelerada y desordenada entre 1985 y 2022, caracterizada por una fuerte presión sobre ecosistemas frágiles y áreas de riesgo hídrico. Mediante el análisis espacial con tecnologías de la información geográfica, se cuantificó una transformación territorial significativa, donde el rol de la categoría “Área sin vegetación” — que representa la superficie urbana— fue central y determinante en la dinámica de cambios.

El análisis de las transiciones categoriales revela que la expansión del área sin vegetación se produjo predominantemente a expensas de ecosistemas naturales clave. Esta categoría ganó aproximadamente 1000 hectáreas en el periodo, registrando una ganancia neta de 800 ha. Lo más crítico es el origen de esta expansión: más de 700 ha provinieron directamente de la categoría “Leñosa inundable”, y otra porción significativa de “Pastizal inundable”. Esto confirma que el crecimiento urbano no solo fue cuantitativamente importante, sino que se orientó hacia zonas morfológica e hidrológicamente sensibles, aumentando la exposición de la población y la infraestructura a riesgos de inundaciones fluviales y pluviales.

Este patrón de ocupación, donde la mancha urbana avanza sobre humedales y áreas de amortiguación natural, refleja una lógica de crecimiento “técnicamente errónea”. La pérdida de estas coberturas vegetales, especialmente la leñosa inundable, reduce la capacidad natural de retención e infiltración de agua, exacerbando los anegamientos en periodos de lluvia. Este problema se ve agravado por las deficiencias en la infraestructura de saneamiento y por el sistema de defensas, que, si bien protege de crecidas fluviales, impide el drenaje natural del

agua de lluvia, creando condiciones para inundaciones intraurbanas y contaminación de los cuerpos de agua.

Además, la expansión del área sin vegetación no siguió un patrón de compactación o densificación, sino que se manifestó como un crecimiento horizontal y fragmentado, guiado por las vías de comunicación (Rutas Nacionales N°11 y N°86) y la disponibilidad de suelo barato, sin una evaluación previa de riesgos ambientales. Este modelo incrementa los costos de provisión de servicios públicos, genera discontinuidades en el tejido urbano y profundiza la segregación socioespacial, localizando a los sectores más vulnerables en las áreas de mayor riesgo.

Para el trabajo, las contribuciones metodológicas —matrices de cambio de Pontius— permitieron cuantificar estas transiciones con rigor estadístico ($\chi^2 = 1,210,251.6250$; $*p* < 0.0000$; V de Cramer = 0.5313), destacando la intensa interacción entre la dinámica urbana y la pérdida de coberturas naturales. La adaptación del sistema MapBiomas a nivel local generó cartografía temática confiable, validada con verificación in situ e interpretación satelital, que sirve como línea base para evaluar políticas públicas y modelar escenarios de crecimiento futuro.

El caso de Clorinda ejemplifica los desafíos de la urbanización latinoamericana no planificada, donde factores geopolíticos (ubicación fronteriza) y socioeconómicos (migración, demanda de suelo) impulsan dinámicas espaciales insostenibles. La evidencia geoespacial aquí presentada subraya la urgencia de reorientar el desarrollo urbano hacia un modelo de ciudad compacta, resiliente y ambientalmente viable, que priorice la ocupación de áreas seguras y la recuperación de los servicios ecosistémicos perdidos. La planificación territorial futura debe incorporar de manera central el análisis de riesgos y la protección de las coberturas naturales restantes, utilizando herramientas como las aquí demostradas para evitar la reproducción de patrones de crecimiento que incrementan la vulnerabilidad socioambiental.

Bibliografía

- Aguilera Ontiveros, A. (2002). Ciudades como tableros de ajedrez: Introducción al modelado de dinámicas urbanas con autómatas celulares. El Colegio de San Luis.
- Arellano, B., y Roca, J. (2010). El urban sprawl, ¿un fenómeno de alcance planetario? Los ejemplos de México y España. ACE: Architecture, City and Environment,
- Batty, M. (2005). Approaches to modelling in GIS: Spatial representation and temporal dynamics. En D. J. Maguire, M. Batty, y M. F. Goodchild (Eds.), GIS, spatial analysis, and modelling (pp. 41-61). ESRI Press.
- Buzai, G. D. (2020). Megaciudades de América Latina. Conceptos, modelos y geografía de los procesos de estructuración urbana. Anuario de la División Geografía, 14, 1–27. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11336/168765>
- Buzai, G. D., y Baxendale, C. A. (2015). Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica: Marco conceptual basado en la teoría de la geografía. Ciencias Espaciales, 8(2), 391-408. <https://doi.org/10.5377/ce.v8i2.2089>
- Buzai, G.D. y Baxendale, C.A. (2011). Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Tomo 1: Perspectiva científica/Temáticas de base raster. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Buzai, G.D. y Baxendale, C.A. (2013). Aportes del análisis geográfico con Sistemas de Información Geográfica como herramienta teórica, metodológica y tecnológica para la práctica del ordenamiento territorial. Persona y Sociedad. 27(2):113-141.
- Buzai, G.D.; Lanzelotti, S.; Humacata, L.; Principi, N.; Acuña Suárez, G. y Baxendale, C.A. (2017). Análisis espacial y evaluación de zonas de potenciales conflictos ambientales, productivos y patrimoniales ante la expansión urbana en la cuenca del río Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina). Aplicación: La expansión urbana de Luján y los potenciales conflictos entre usos del suelo. Memorias XVI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (pp. 245-252). Universidad del Azuay. Cuenca.
- Cardoso, A., y Ortíz, P. (2012). Periurbanización, segregación social y fragmentación territorial. En Encuentro de Geógrafos de América Latina 12. <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Geografiasocioeconomica/Geografiaurbana/255.pdf>
- Gómez Delgado, M. y Barredo Cano, J.I. (2006). Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Alfaomega-Ra-Ma. México.
- Gómez Delgado, M. y Rodríguez Espinosa, V.M. (2012). Análisis de la Dinámica Urbana y Simulación de Escenarios de Desarrollo Futuro con Tecnologías de la Información Geográfica. Ra-Ma. Madrid.
- Humacata, L. (2017). Elaboración de cartografía temática de usos del suelo con Tecnologías de la Información Geográfica. Revista Vientos del Norte, 5(2), 18-37.

- Humacata, L. (2021). Cartografía temática de usos del suelo de la cuenca del río Luján (1990-2010). Elaboración y análisis con Sistemas de Información Geográfica. Anuario de la División Geografía, 15, 1-24.
- Humacata, L. (2022). Análisis espacio-temporal de cambios de coberturas y usos del suelo en la cuenca del río Luján (1990-2010). Revista Huellas, 26(1), 145-160. <http://dx.doi.org/10.19137/huellas-2022-2609>
- Humacata, L., y Buzai, G. (2018). Análisis espacial de los cambios de usos del suelo con Sistemas de Información Geográfica. En C. Mikkelsen y N. Picone (Comps.), Geografías del presente para construir el mañana: Miradas geográficas que contribuyen a leer el presente (ISBN: 978-950-658-466-5). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA).
- INDEC (1999b) Situación y Evolución Social, Síntesis N°4, Tomo 1, INDEC, Buenos Aires.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) y Dirección de Estadística, Censos y Documentación de la Provincia de Formosa (SEPLADE). (2000). Situación demográfica de la provincia de Formosa (Serie Análisis Demográfico N° 28). INDEC, Ministerio de Economía, Secretaría de Programación Económica y Regional.
- Janoschka, Michael. (2002). El Nuevo Modelo de la Ciudad Latinoamericana: Fragmentación y Privatización. Eure-revista Latinoamericana De Estudios Urbano Regionales - EURE. 28. 10.4067/S0250-71612002008500002.
- Lanfranchi, G., Duarte, J. I., y Granero Realini, G. (2018). La expansión de los Grandes Aglomerados Urbanos argentinos (Documento de Políticas Públicas/Recomendación N°197). CIPPEC.
- Linares, S. (2015). Aplicación de modelos de simulación de crecimiento urbano. En Buzai, G.D.; Cacace, G.; Humacata, L.; Lanzelotti, S.L. (Comp.). 2015. Teoría y métodos de la Geografía Cuantitativa. Libro 1: Por una Geografía de lo real. MCA Libros. Mercedes.
- Malczewski, J. 1999. GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley y Sons. New York
- Matteucci, S.; Morello, J.; Buzai, G.; Baxendale, C.; Silva, M.; Mendoza, N.; Pengue, W. y Rodríguez, A. (2006). Crecimiento urbano y sus consecuencias sobre el entorno rural. El caso de la ecorregión pampeana. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires.
- Municipio de Clorinda, Gobierno de la Provincia de Formosa y Consejo Federal de Inversiones (2007, diciembre). Clorinda: Prioridades estratégicas, Planes Estratégicos de Desarrollo Local. Municipio de Clorinda; Gobierno de la Provincia de Formosa; Consejo Federal de Inversiones.
- Municipio de Clorinda, Gobierno de la Provincia de Formosa, y Consejo Federal de Inversiones. (2007). Planes estratégicos de desarrollo local: Prioridades estratégicas.
- Orozco, R., Vargas, C., Vargas, A. y Aguilar, J. (2015). Crecimiento de las principales áreas metropolitanas de Centroamérica. Informe final de investigación para el Quinto Informe Estado de la Región. San José, Costa Rica: Programa Estado de la Nación.

- Pontius, R.G.; Shusas, E. y McEachern, M. 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 101: 251-268.
- Príncipi, N. (2016). Evaluación Multicriterio para la identificación de áreas con potencial conflicto entre usos del suelo en la cuenca del río Luján (Buenos Aires, Argentina). Tesis. Maestría en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Universidad de Costa Rica y Universidad Nacional. Costa Rica.
- Ramírez, M. y Blanco, H., (2016). El sistema urbano primacial de la provincia de Formosa: Evolución poblacional de las principales urbes. En *Actas del XIV Encuentro de Profesores y Licenciados en Geografía de Formosa, Volumen 2* (pp. 215-234). Editorial EDUNAF. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34780.902491>
- Rigonatto, B. (2006). Evolución de la ocupación del espacio urbano de la ciudad de Clorinda en el período 1950 - 1996.
- Ruiz, V., Savé, R., y Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011. *Ecosistemas*, 22(3), 117-123. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-3.16>
- Tejido Urbano. (2023). Crecimiento de la mancha urbana en principales ciudades argentinas: 2018 - 2023. Tejido Urbano.
- Uribe, A., Marín, M., Morales, N., Baires, S. y Zeitún, E. (2010). Notas técnicas sobre tendencias del crecimiento urbano en Centroamérica. Informe final de investigación para el Cuarto Informe Estado de la Región. San José, Costa Rica: Programa Estado de la Nación.
- Vargas-Bolaños, C., Orozco-Montoya, R., Vargas-Hernández, A., y Aguilar-Arias, J. (2020). Metodología para la determinación del crecimiento de la mancha urbana en las capitales de la región centroamericana (1975-1995-2014). *Revista Geográfica de América Central*, 64(1), 59-91. <https://dx.doi.org/10.15359/rgac.64-1.3>
- Xie, Y. y Sun, Z. 2000. Dynamic Urban Evolution Model Base don Cellular Automata. *Igre. Ypsilanti*.