



Maestría en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana

Conocimiento activo para construir
ciudades más sostenibles • **VOLUMEN V**



MAESTRÍA EN PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE LA INGENIERÍA URBANA

Conocimiento activo para construir ciudades más sostenibles - **VOLUMEN V**

Director Académico y Ejecutivo:
Dr. Ing. Alejandro J. Sarubbi

Tesistas:
Mg. Ing. Andrea Karina Granja Carrera
Mg. Ing. Gabriel Tryfón
Mg. Ing. Juan Sebastián Pérez Gutiérrez

Sáez, Alberto

Maestría en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana: conocimiento activo para construir ciudades más sostenibles: volumen v / Alberto Sáez; Florencia Debiassi; Compilación de Florencia Debiassi. - 5a ed.

compendiada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Consejo Profesional de Ingeniería Civil, 2026. Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-631-90517-3-5

1. Tesis de Maestría. I. Debiassi, Florencia II. Debiassi, Florencia, comp. III. Título. CDD 624

MAESTRÍA EN PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE LA INGENIERÍA URBANA

Conocimiento activo para construir ciudades más sostenibles - Volumen V

Director Académico y Ejecutivo: Dr. Ing. Alejandro J. Sarubbi

Mg. Ing. Andrea Karina Granja Carrera

Mg. Ing. Gabriel Tryfón

Mg. Ing. Juan Sebastián Pérez Gutiérrez

Edición

Florencia Debiassi / Alberto Sáez

Diagramación

Florencia Debiassi / Alberto Sáez

Foto de tapa

Diseño Florencia Debiassi. Fuente: <https://www.pexels.com>

Esta publicación ha sido elaborada por el CONSEJO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL (CPIC) en el marco de su estrategia de divulgación de temáticas de interés para la industria de la construcción y la sociedad en su conjunto.

La reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio, requerirá autorización expresa del editor. Queda hecho el depósito que establece la Ley N° 11.723.

Un esfuerzo significativo en tiempo, dedicación y capacidad profesional ha sido invertido en la elaboración de este libro.

El lector acepta y reconoce que el autor ni el Consejo Profesional de Ingeniería Civil (CPIC) emiten garantía explícita o implícita alguna respecto a los resultados derivados de la aplicación de las consideraciones incluidas en esta obra.

Asimismo, el lector declara expresamente que asume la responsabilidad sobre cualquier aplicación basada en el contenido del libro, debiendo verificar previamente su pertinencia, seguridad y adecuación a la realidad técnica y normativa correspondiente.

Publicado en formato digital

Julio 2026

INDICE

Agradecimientos	4
<i>Ing. Civil José Girod</i>	
Prólogo	5
<i>Ing. Silvio Bressan</i>	
Presentación	7
<i>Dr. Ing. Alejandro J. Sarubbi</i>	
Introducción	9
<i>Ing. Adriana Beatriz García</i>	
Tesis 1: HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS EN ZONAS BAJAS CON AMENAZAS HIDROLÓGICAS	11
<i>Tesista: Ing. Andrea Karina Granja Carrera</i>	
<i>Director de Tesis: Ing. Rodolfo Aradas</i>	
<i>Co-Director: Ing. Mario Ferdin</i>	
Tesis 2: APORTES AL PLANEAMIENTO ESTRATÉGICO DE LOS SISTEMAS CLOACALES CENTRALIZADOS Y DESCENTRALIZADOS RESPECTO A LOS PUNTOS FINALES DE VUELCO	92
<i>Tesista: Ing. Gabriel Tryfón</i>	
<i>Directora de Tesis: Dra. Mg. Verónica Cáceres</i>	
<i>Co-Directora: Ing. Patricia Caso</i>	
Tesis 3: METODOLOGÍA DE GESTIÓN PÚBLICA LOCAL PARA AGILIZAR EL DESPLIEGUE DE ANTENAS DE TELECOMUNICACIONES TIPO SMALL CELL	163
<i>Tesista: Ing. Juan Sebastián Pérez Gutiérrez</i>	
<i>Director de Tesis: Mg. Ing. Eduardo Antonio Vidal</i>	
Acerca de la Maestría en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana	216
Acerca de los Autores	219
Autoridades del Consejo Profesional de Ingeniería Civil	221

AGRADECIMIENTOS

El Consejo Profesional de Ingeniería Civil (CPIC) presenta con orgullo esta nueva publicación, que reúne tres tesis de recientes graduados de la Maestría en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana (MPyGIU). Esta obra refleja el rigor académico y la vocación transformadora del programa, consolidado como un pilar institucional clave para la capacitación continua y la promoción de ciudades más sostenibles, equitativas y resilientes.

El valor de este volumen se enriquece gracias a la transferencia de saberes de destacados docentes y profesionales de instituciones de prestigio como la FIUBA, la UTN y el propio CPIC. Reconocemos profundamente el apoyo constante de la Mesa Directiva y el Consejo Directivo, así como la dedicación del Director de la Maestría, los autores de las tesis y todos los colaboradores que garantizaron la calidad, actualidad y pertinencia de los estudios aquí reunidos.

Confiamos en que esta publicación inspire a estudiantes, colegas y tomadores de decisiones, fomentando nuevas investigaciones, debates y acciones concretas. De este modo, reafirmamos nuestro compromiso con los desafíos futuros de la planificación urbana y aspiramos a que esta obra contribuya decisivamente a un desarrollo urbano verdaderamente sostenible.

Ing. José Girod

Presidente del Consejo Profesional de Ingeniería Civil (CPIC)

PRÓLOGO

Maestría en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana: Conocimiento Activo para Construir Ciudades Más Sostenibles

Al presentar este quinto volumen de la colección editada por el **Consejo Profesional de Ingeniería Civil (CPIC)**, renovamos el reconocimiento a la visión prospectiva que, en el año 2012, impulsó la firma del Convenio Marco entre el CPIC, la **Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FIUBA)** y la **Universidad Tecnológica Nacional (UTN)**. Desde su inicio en 2013, la **Maestría en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana (MPyGIU)** se ha desarrollado de manera ininterrumpida, consolidándose año tras año como un referente académico y profesional en la formación de especialistas capaces de abordar la complejidad de los entornos urbanos y periurbanos.

La dinámica contemporánea de las ciudades, marcada por la acelerada densificación demográfica, la transformación tecnológica, los imperativos de la transición climática y la necesidad de equidad social, exige respuestas integrales y actualizadas. En este contexto, la MPyGIU responde a una carencia histórica: la falta de ingenieros civiles y profesionales afines con formación urbanística específica, dotándolos de herramientas para liderar proyectos de planificación y gestión con una perspectiva holística, interdisciplinaria y socialmente responsable. Su diseño curricular, continuamente optimizado a partir de análisis FODA y avalado por la CONEAU, se articula en tres trayectos formativos que garantizan una capacitación de excelencia.

El primer ciclo, denominado de “formación general”, sienta las bases conceptuales en ciencias sociales, sociología urbana, desarrollo sustentable y gestión ambiental. El segundo ciclo profundiza la mirada ingenieril, abarcando abastecimiento hídrico, saneamiento, gestión de cuencas, hidráulica urbana, proyectos viales, transporte y la estructuración de políticas de suelo y vivienda. El tercer trayecto, a través de seminarios optativos y los cursos de Tesis 1 y Tesis 2, orienta la investigación aplicada y acompaña el diseño y elaboración del proyecto en todas sus etapas. Este enfoque permite a los maestrandos no solo comprender el funcionamiento integral de las ciudades, sino también desarrollar procesos de investigación, coordinar programas de desarrollo urbano, proponer alternativas tecnológicas y de gestión, y asesorar a instituciones públicas y privadas con idoneidad y responsabilidad social.

La creciente complejidad urbana ha desterrado la noción de que la planificación es de exclusiva aplicación en “nuevas ciudades”; hoy, el “mantenimiento” y la “mejora continua” del tejido existente son prioritarios. La Maestría enfatiza la integración de principios jurídicos y ambientales contemporáneos, priorizando la salud, la igualdad y el bienestar común. Así, los egresados se capacitan para liderar equipos multidisciplinarios, interactuar con expertos en urbanismo, economía, sociología y ambiente, y promover infraestructuras resilientes que compatibilicen el crecimiento urbano con la sostenibilidad. Si bien el título de *Magister en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana* no agrega incumbencias al título de grado,

constituye un testimonio fehaciente de la capacitación especializada del profesional en esta compleja disciplina.

Este Volumen V recoge una selección de trabajos de tesis que constituyen un fiel reflejo del conocimiento activo y la madurez académica alcanzada por nuestros magísteres. Sus investigaciones abordan desafíos actuales, proponen modelos de gestión innovadores y reafirman el rol protagónico de la ingeniería en la construcción de entornos urbanos más amables, solidarios y ambientalmente sostenibles. Agradecemos a los autores por su dedicación, al cuerpo docente por su compromiso pedagógico, y a las instituciones firmantes del convenio por su continua colaboración. Los resultados obtenidos, año tras año, siguen siendo más que auspiciosos.

Ing. Silvio Bressan

Integrante de la Unidad de Coordinación de la Maestría en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana (MPyGIU)

PRESENTACIÓN

Reformular las Ciudades para generar Calidad de Vida

La **Maestría en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana (UBA-UTN-CPIC)** se constituye como un espacio académico orientado a la formación de profesionales capaces de abordar la creciente complejidad multidisciplinar de las ciudades contemporáneas mediante un enfoque **integral, interdisciplinario y orientado a la sostenibilidad**.

En el contexto actual, caracterizado por una fuerte urbanización —con un alto porcentaje de la población concentrada en áreas urbanas— las **ciudades enfrentan múltiples desafíos** vinculados con la infraestructura, el ambiente, la equidad social y la eficiencia en el uso de los recursos.

La maestría responde a esta realidad formando especialistas que integran conocimientos técnicos, sociales, ambientales y gestionales para la toma de decisiones y acciones inteligentes.

El enfoque de la maestría se alinea directamente con el concepto de **gestión urbana sostenible**, entendido como un modelo que articula la planificación territorial, la provisión de infraestructura y la gestión de recursos con criterios de sostenibilidad ambiental, inclusión social, energías verdes, y eficiencia económica.

La convergencia de disciplinas —ingeniería, arquitectura, agronomía, planificación territorial, economía urbana, patrimonio cultural y gestión ambiental— permite abordar la **ciudad como un sistema complejo**, tal como lo plantea la teoría contemporánea de la sostenibilidad urbana.

En este sentido, la formación académica promueve:

- Una **visión sistémica de la ciudad**, donde los distintos subsistemas (transporte, energía, agua, emisiones gaseosas, residuos) se integran en la planificación urbana.
- La incorporación de criterios de **sostenibilidad en proyectos de infraestructura**, tanto en su diseño como en su operación y mantenimiento.
- El desarrollo de capacidades multidisciplinarias para la **gestión de impactos ambientales**, promoción de herramientas como los Planes de Gestión Ambiental, y habilidades necesarias de procesamiento de datos, análisis y métodos estadísticos requeridos para interpretar los resultados de los experimentos y simulaciones, concluir y tomar decisiones.
- La **simulación con métodos computacionales y maquetas interactivas** de apoyo al diseño de infraestructura sostenible, evaluando su desempeño energético (ISO 50001). Ciclos de Vida, y Huellas de Carbono e Hídricas, con técnicas avanzadas de optimización.
- **Trabajos de laboratorio y de campo** evaluando infraestructura desde la óptica de la Economía Circular.

- **Estudio de casos**, con Gemelos digitales, catastro multipropósito y herramientas como GIS, BIM o Integrated Management Systems, con Inteligencia Artificial Generativa.
- **Visitas técnicas guiadas** a Infraestructura vigente, en construcción y en operación.

Esto refuerza el carácter proyectual y operativo de la gestión urbana sostenible, orientada a la implementación concreta de políticas y proyectos.

La articulación entre la maestría y la gestión urbana sostenible **permite formar profesionales capaces** de:

- Diseñar y gestionar proyectos urbanos con enfoque sostenible
- Integrar sistemas de gestión ambiental en obras de infraestructura
- Evaluar impactos y proponer medidas de mitigación y adaptación
- Desarrollar soluciones urbanas resilientes frente al cambio climático
- Tomar decisiones costo-eficientes.

Este perfil resulta clave en un contexto donde las **ciudades deben evolucionar hacia modelos más eficientes, inclusivos y ambientalmente responsables**.

En síntesis, la **Maestría en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana (UBA-UTN-CPIC)** constituye un marco formativo plenamente alineado con los principios de la **gestión urbana sostenible**, al promover una visión integral, interdisciplinaria y orientada a la resolución de los desafíos urbanos contemporáneos.

Y por supuesto, lo más importante es el **recurso humano, docentes y alumnos** con un sincero compromiso en la formación integral de nuestros profesionales, que aplicarán los conocimientos adquiridos para optimizar la **calidad de vida de los habitantes**.

Este **volumen V** continúa mostrando cómo nuestros Magísteres egresados contribuyen activamente a imaginar y materializar el país del futuro, de forma planificada y sostenible, abordando los desafíos urbanos con una visión holística y el conocimiento necesario para construir **ciudades más humanas**.

Dr. Ing. Alejandro J. Sarubbi

Director Académico y Ejecutivo de la Maestría

INTRODUCCIÓN

La importancia de la ingeniería urbana en el contexto contemporáneo resulta indisociable de los desafíos que enfrentan las ciudades modernas: la búsqueda de una mayor calidad de vida, la gestión eficiente de los recursos naturales y la imperiosa necesidad de avanzar hacia modelos de desarrollo verdaderamente sostenibles. La integración de tecnología, la movilidad sustentable, el cuidado de los espacios verdes y la optimización de sistemas como el agua, la energía y los residuos constituyen pilares fundamentales para reducir la huella ambiental y mejorar el bienestar ciudadano.

Sin embargo, es una realidad fácilmente constatable la escasa participación de los ingenieros en los ámbitos de decisión, planificación y regulación de escala urbana. Ante esta brecha, y con el convencimiento de que el enorme potencial técnico-científico de estas profesiones debe aprovecharse de manera integral, se concibió la **Maestría en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana (MPyGIU)**. Este posgrado nace con el objetivo de complementar la sólida formación de ingenieros civiles, viales, en construcciones, hidráulicos, agrimensores, arquitectos y disciplinas afines, con saberes provenientes de la sostenibilidad, la economía, la sociología y la psicología urbana, permitiéndoles comprender cabalmente los complejos procesos que conforman el hecho urbano.

Fruto de una iniciativa pionera del **Consejo Profesional de Ingeniería Civil (CPIC)**, la Maestría se constituye como un “posgrado de dependencia compartida” junto a la **Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (UBA)** y la **Universidad Tecnológica Nacional (UTN)**. Su estructura académica articula un enfoque integrado de los sistemas de infraestructura urbana —transporte, saneamiento, ambiente, industria, edificación, patrimonio cultural y planes de expansión—, promoviendo una perspectiva estratégica que supera la coyuntura y habilita el diseño de proyectos transformadores.

La propuesta educativa se sustenta en metodologías activas: análisis de casos, trabajo por proyectos, debates críticos, talleres, seminarios y trabajos de campo, culminando en una tesis de investigación aplicada. Con una duración de dos años más trabajo final, el programa busca formar profesionales capacitados para liderar equipos interdisciplinarios, coordinar programas urbanos, proponer alternativas tecnológicas innovadoras y gerenciar intervenciones que respondan con eficacia y eficiencia a las complejas demandas del hábitat urbano.

El presente volumen se inserta en la colección “*Maestría en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana: conocimiento activo para construir ciudades más sostenibles*”, continuando la tradición de difundir los trabajos finales de tesis presentados por nuestros egresados. Estos textos condensan miradas rigurosas y propuestas concretas sobre problemáticas urbanas actuales, demostrando cómo el saber académico puede traducirse en acciones de impacto real. Nuestra Maestría, y esta publicación en particular, aspiran a “**trascender**” en el doble sentido que nos recuerda la Real Academia Española: dar visibilidad a conocimientos antes dispersos o poco valorados en la gestión urbana, y

extenderse comunicando ideas que generen consecuencias tangibles en la planificación y el desarrollo de nuestras urbes.

Además de los aportes concretos que contienen las tesis incluídas, la publicación invita también a reflexionar sobre el futuro de la planificación y la gestión de la ingeniería urbana, así como sobre el rol que deberán asumir las nuevas generaciones de profesionales. Las ciudades del siglo XXI enfrentarán desafíos de una complejidad sin precedentes: cambio climático, transformación digital, nuevas formas de movilidad, crecientes demandas de equidad territorial, resiliencia frente a eventos extremos y una ciudadanía cada vez más participativa e informada.

En este contexto, será imprescindible contar con profesionales que, además de los conocimientos y tecnologías propias de este campo, incorporen visión estratégica, capacidad de liderazgo, pensamiento sistémico, competencias para la aplicación de tecnologías innovadoras y herramientas de inteligencia artificial, así como aptitudes para desenvolverse en entornos complejos y en equipos interdisciplinarios. Anticipar estos escenarios, promover la innovación y contribuir a la formación de líderes capaces de transformar el conocimiento en decisiones que mejoren la calidad de vida de nuestras comunidades

Al compartir estos aportes, reafirmamos el compromiso institucional y profesional de poner el bagaje técnico, científico y humano de la ingeniería urbana al servicio de la sociedad. Confiamos en que las reflexiones y soluciones aquí expuestas contribuyan a enriquecer el debate público, inspiren nuevas prácticas de gestión y nos acerquen, paso a paso, a la construcción de ciudades más habitables, resilientes y sostenibles para las generaciones presentes y futuras.

Ing. Adriana Beatriz García

Consejera Universitaria Titular del Consejo Profesional de Ingeniería Civil (CPIC)

TESIS I

HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS EN ZONAS BAJAS CON AMENAZAS HIDROLÓGICAS

Caso de estudio: Cuenca baja del río Coca, ciudad Francisco de Orellana, “El Coca”, Ecuador

Tesista: Ing. Andrea Karina Granja Carrera

Director de Tesis: Ing. Rodolfo Aradas

Co-Director: Ing. Mario Ferdkin



RESUMEN

La tesis titulada "Herramienta para la gestión integral de cuencas en zonas bajas con amenazas hidrológicas: Estudio de caso cuenca baja del río Coca, ciudad Francisco de Orellana, 'El Coca', Ecuador" se centra en investigar y proporcionar soluciones a los riesgos asociados a las amenazas hidrológicas, erosión fluvial y la sedimentación en la región de Francisco de Orellana. Esta ciudad, situada en la cuenca baja del río Coca, enfrenta desafíos significativos debido a eventos geológicos y ambientales, como procesos erosivos y desbordamiento del río.

El estudio aborda la importancia de comprender y gestionar integralmente las cuencas hidrográficas para promover el desarrollo resiliente de las ciudades en estas áreas. Se destaca la necesidad de utilizar este tipo de herramientas entre los Gobiernos Autónomos Descentralizados y otras entidades para gestionar en las cuencas hidrográficas de manera integral los riesgos hidrológicos, la conservación del medio ambiente y el monitoreo de manera efectiva.

El objetivo principal de la investigación es crear una herramienta de gestión integral para mejorar el desarrollo de ciudades amazónicas ubicadas en zonas bajas de cuencas, con énfasis en Francisco de Orellana. Se propone un enfoque metodológico que incluye análisis exploratorios, descriptivos e inferenciales para comprender la vulnerabilidad de la zona, identificar y caracterizar los riesgos hídricos, y proponer indicadores técnicos para la gestión integral de la cuenca.

La herramienta que se va a utilizar es un tablero de control el cual se compone de tres niveles de acciones con métodos de evaluación correspondientes, brindando una representación visual de indicadores para una ejecución eficiente con metas cualitativas y cuantitativas. Su organización facilita la obtención de información relevante para la toma de decisiones y la implementación de acciones estratégicas para la gestión integral de la cuenca baja de un río y el desarrollo resiliente de una ciudad en esa área. El primer nivel se centra en la gestión para la planificación y ejecución coordinada de estrategias destinadas a prevenir, supervisar y evaluar constantemente las zonas de inundación, incluyendo un sistema de alerta temprana. El segundo nivel se enfoca en el monitoreo y evaluación de la estabilidad del cauce, utilizando indicadores relacionados con las metas del plan de acción de la gestión de la cuenca. El tercer nivel se centra en la gestión de proyectos, que abarca la planificación, control y seguimiento en la construcción de obras, utilizando el método del valor ganado (EVM).

Palabras claves: *Gestión de cuencas hidrográficas, amenazas hidro sedimentológicas, tablero de control, cuenca del río Coca, ciudad Francisco de Orellana.*

ABSTRACT

This thesis investigates and provides solutions to the risks associated with hydrological hazards, river erosion and sedimentation in the Francisco de Orellana region, located in the lower basin of the Coca River. The study highlights the importance of a comprehensive understanding and management of watersheds to promote resilient development in cities facing such challenges. It highlights the need for decentralized autonomous governments and other entities to adopt appropriate tools to effectively manage hydrological risks and environmental conservation within watersheds.

The main objective of this research is to develop a comprehensive management tool aimed at improving the development of Amazonian cities located in low-lying watersheds, with a specific focus on Francisco de Orellana. The proposed methodological approach includes exploratory, descriptive and inferential analyses to assess the vulnerability of the area, identify and characterize hydrological risks, and propose technical indicators for integrated watershed management.

The envisaged tool is a dashboard with three levels of actions accompanied by corresponding evaluation methods, offering a visual representation of indicators to facilitate efficient execution with qualitative and quantitative objectives. Its structured layout facilitates the acquisition of relevant information for decision-making and the implementation of strategic actions for integrated watershed management and resilient urban development. The first level prioritizes management for planning and coordinated implementation of strategies for prevention, monitoring and continuous assessment of flood-prone areas, including the establishment of an early warning system. The second tier focuses on monitoring and assessing channel stability using indicators aligned with the goals of the watershed management action plan. The third tier emphasizes project management, which includes planning, controlling, and monitoring construction projects using the Earned Value Management (EVM) methodology.

Keywords: *Watershed management, hydro-sedimentological threats, control panel, Coca River basin, Francisco de Orellana city.*

INTRODUCCIÓN

La gestión de cuencas afronta varias problemáticas, las cuales cambian según tamaño y forma de la cuenca, características climáticas, uso del suelo y actividades humanas, disponibilidad y calidad del agua, densidad de población, nivel de desarrollo económico, distribución de recursos, las condiciones socioeconómicas pueden influir en la capacidad de inversión, participación comunitaria y la equidad en la distribución de beneficios y costos relacionados con el agua y los recursos naturales.

La gestión de cuencas se ve confrontada con desafíos considerables, tales como la fragmentación institucional, la competencia por el acceso y uso de los recursos hídricos que puede dar lugar a conflictos entre usuarios, la degradación de los ecosistemas, el cambio climático y eventos extremos. Estos factores tienen un impacto sustancial en las cuencas hidrográficas, afectando la disponibilidad de agua y pudiendo dar lugar a la erosión fluvial y

a una acumulación elevada de sedimentos. La falta de financiamiento, junto con la escasa participación y conciencia pública, también contribuyen a las problemáticas en la gestión de cuencas.

El análisis del presente trabajo se centrará en el país Ecuador en la cuenca baja del río Coca, ubicada en la Provincia de Orellana en la Amazonía ecuatoriana, debido a que los riesgos (inundación de ciudades y los diferentes riesgos que genera la erosión fluvial en los últimos años se han incrementado sensiblemente como consecuencia de los eventos geológicos desencadenados por el inicio del proceso eruptivo del volcán Reventador en el año 2002. Los productos volcánicos generados, bloquearon una serie de quebradas que servían como sumideros para el cauce normal del río Coca y el taponamiento de la quebrada en el Río Montana, que generó una suspensión del flujo del río y por ende una acumulación de sedimentos que afectaron a la infraestructura de transporte de crudo SOTE y el OCP en 40 y 50 km de extensión, generándose deslizamientos por efectos sísmicos asociados en aproximadamente 10 mil km² del área de influencia y también esto generó que todo ese material se ubicara en la parte baja de la cuenca.

En el año 2019 aguas arriba del río Coca se produjo erosión regresiva de la cuenca hidrográfica de la que lleva su mismo nombre, desapareciendo la cascada San Rafael, esto provocó que las líneas de OCP y SOTE se rompiera, se contamine el río y que varias poblaciones rurales como San José de Guayusa, San Sebastián del Coca y la ciudad de El

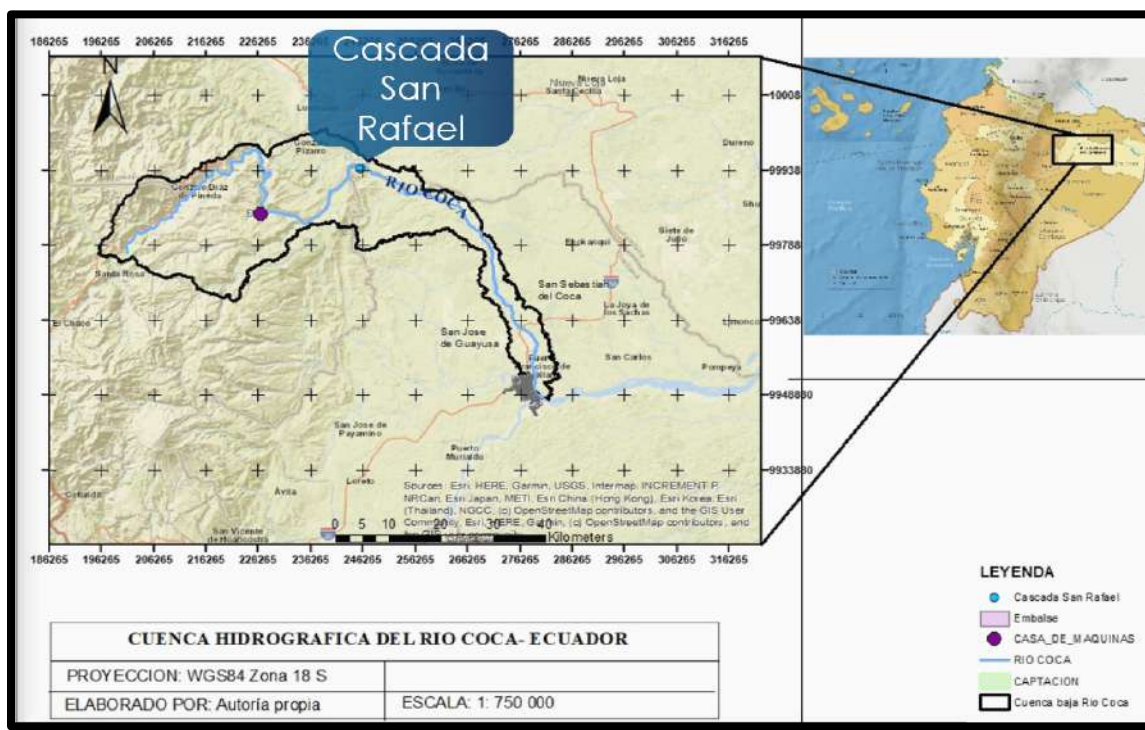


Figura 1. Cuenca Hidrográfica del río Coca. Autoría Propia.

Coca tuviera daños ambientales severos. Adicionalmente por la erosión en la parte alta de la cuenca se genera sedimentos los cuales son arrastrado por el río y desembocan en la

parte baja de la cuenca donde se encuentra ubicada la ciudad Puerto Francisco de Orellana EL Coca.



Figura 2. Socialización y recorridos zonas afectadas en el cantón de Francisco de Orellana por erosión del Río Coca. Fuente: (Anónimo, 2020)

Francisco de Orellana, también conocida como “El Coca”, es capital de la provincia de Orellana. En su seno, se percibe un tejido social y organizativo robusto que refleja las complejas dinámicas y procesos que han tenido lugar en este territorio. Se observa una ferviente defensa del derecho humano a la protección del medio ambiente, así como el anhelo de que el entorno habitado sea seguro. Además, existe un compromiso claro con la información ciudadana, garantizando que, ante cualquier amenaza, los residentes estén debidamente informados sobre los planes de contingencia y las medidas implementadas por el gobierno.

Por lo anteriormente mencionado, se requiere de una gestión efectiva con un orientación integral, participativa y sostenible con los diferentes actores, que las medidas que se planten sean planificadas, también es crucial implementar medidas adecuadas de gestión, como la planificación del uso del suelo, construcción de infraestructuras, charlas preventivas, entre otras medidas.

En Ecuador, en lo que respecta a la gestión de cuencas, se nota la carencia de una política pública integral que involucre a diversas instancias como municipios, ministerios y otros actores. Esta ausencia se refleja en la falta de coordinación en las acciones relacionadas con el uso y manejo de los recursos naturales en una cuenca. A pesar de que existen estudios y propuestas de soluciones provenientes de entidades como la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC), el Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y EP Petroecuador, no se ha logrado una coordinación integral entre estas entidades para plantear medidas, ya sean estructurales y no estructurales.

En el tema de gobernabilidad de este sector se cuenta con la planificación hídrica nacional de la cuenca del NAPO, la cual está formada por varias cuencas como son la cuenca del río Misahuallí, cuenca del río Aguarico, cuenca del río Payamino, cuenca del río Curaray y la cuenca del río Coca, donde actualmente es considerada una zona de alto riesgo. Es importante que en zonas con estas características se cuente con una gestión integral de cuencas para poder plantear programas y proyectos en específico y de igual manera poder incluir entidades públicas, privadas, y las comunidades que se encuentran afectadas.

Debido a estos antecedentes, es importante implementar tableros de control con indicadores como una herramienta, la cual permita la gestión integral de cuencas hidrográficas para el monitoreo, ya sea de los caudales, la precipitación, cantidad de sedimentación, entre otros la evaluación de los objetivos planteados, comunicación entre los diferentes actores involucrados, la participación y que la toma de decisiones sea más fundamentada en base a los datos proporcionados por los iniciadores, los cuales ayuden a mejorar la eficiencia, transparencia y la participación en el proyecto de gestión de cuencas para contribuir a la protección y conservación sostenible de los recursos hídricos y los ecosistemas asociados.

En conclusión, es importante contar con herramientas para gestionar de manera integral cuencas, especialmente las que tienen un alto nivel de sensibilidad ambiental y de riesgos, ya que permite estructurar un manejo adecuado de los recursos naturales existentes para lograr un balance entre la utilización de dichos recursos y la protección de la base natural, en busca de un beneficio de los habitantes y de la biodiversidad asociada a la cuenca hidrográfica. Por lo tanto, se propone mediante indicadores en un tablero de control den un sustento a un proceso de toma de decisiones para promover el desarrollo de ciudades que se encuentran localizadas en zonas bajas de cuencas de manera resiliente, cuando se presentan riesgos hídricos.

El desarrollar una herramienta de gestión integral de cuencas en un río con nivel alto de sensibilidad es significativo y abarca diferentes aspectos como es el monitoreo, la alerta temprana y tener una base sólida para la toma de decisiones por parte de los gestores de la cuenca. Contar con información actualizada y que sea accesible ayuda a la comprensión de la situación y permite evaluar el impacto potencial de las acciones o intervenciones, para priorizar respuestas y adoptar medidas preventivas o correctivas de manera oportuna.

Los indicadores técnicos permiten evaluar y mapear las áreas de mayor vulnerabilidad, identificar factores de riesgos y diseñar estrategias de mitigación, estas acciones incluyen medidas estructurales como la protección de la ribera del río y medidas no estructurales como planes de ordenamiento territorial, planes de contingencia, educación, sensibilización ciudadana, con la finalidad de reducir los impactos de las amenazas hidrográficas. Inclusive dichos indicadores pueden utilizarse para medir los resultados y el progreso en términos de reducción de riesgos hidrográficos, la mejora de la resiliencia y la protección de los ecosistemas, esto ayuda a que el seguimiento sea continuo y ajustar las estrategias según sean necesarias.

Por lo tanto, con la caracterización y el análisis de los riesgos hídricos de la cuenca baja del río Coca se propone en el presente trabajo una herramienta que gestione de manera

integral las cuencas hidrográficas cuando en la zona alta y media exista riesgos hidrográficos que afectan al desarrollo resiliente de las ciudades ubicadas en zonas bajas de dicha cuenca. Como caso de estudio se lo analizara en la cuenca del río Coca, la cual, forma parte de la planificación hidráulica regional de demarcación hidrográfica Napo; por todos los riesgos ambientales, las consecuencias que está sucediendo y al contar con varias infraestructuras importantes y ciudades sería fundamental constituir una **HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COCA**.

Dicha herramienta será de utilidad para las diferentes instituciones como son el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, Servicio Nacional de Gestión de Riesgos, comisión ejecutora del río Coca de La Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC-EP), Comisión técnica de Oleoductos de Crudos Pesados Ecuador S.A., de los gobiernos provinciales que forman parte de la cuenca como son: Francisco de Orellana y Napo y la sociedad civil.

OBJETIVOS DEL TRABAJO DE TESIS

Objetivo General

El propósito principal consiste en desarrollar una herramienta integral de gestión para cuencas ubicadas en zonas con amenazas hidrológicas, con el objetivo de mejorar el desarrollo de las ciudades amazónicas situadas en las áreas bajas de dichas cuencas. La herramienta propuesta incluirá indicadores técnicos adaptados a la realidad identificada, con el fin de facilitar la toma de decisiones para la gestión integral de cuencas que enfrentan amenazas hidrográficas. Se implementará un tablero de control, utilizando como caso de estudio la cuenca baja del río Coca, con el propósito de promover un desarrollo resiliente en la ciudad de Francisco de Orellana y preparar a la ciudadanía para hacer frente a posibles emergencias.

Objetivos Específicos

Diagnosticar el corredor fluvial en la cuenca baja del río Coca linderas a la ciudad de Francisco de Orellana en función del análisis teórico desarrollado.

Identificar los riesgos hídricos de la ciudadanía y de la erosión fluvial ubicada linderas al río Coca.

Caracterizar los riesgos de inundación en la cuenca baja del río Coca linderas a la ciudad de Francisco de Orellana mediante el uso de mapas con datos históricos de las diferentes crecidas e inundaciones o de investigaciones anteriores.

Desarrollar indicadores técnicos de acuerdo a la realidad identificada, con el fin de brindar herramientas útiles para la toma de decisión para la gestión integral de la cuenca baja del río Coca y el desarrollo resiliente de la ciudad Francisco de Orellana.

1. Enfoque metodológico.

El desarrollo de la tesis aborda conceptos básicos relativos a las **propiedades fisiográficas** de las cuencas hidrográficas, fundamentales para comprender el comportamiento hidrológico, la generación de escorrentía, la erosión del suelo y la planificación de recursos hídricos.

La metodología empleada incluye varios pasos de recopilación, modelación y análisis:

Datos de Precipitación: Se recopilan datos de precipitación para el análisis de tormentas utilizando la metodología de **Intensidad – Duración – Recurrencia (IDR)**, que permite estimar la intensidad máxima de lluvia, su duración y la probabilidad de ocurrencia.

Modelación Hidrológica: Los datos se introducen en el modelo hidrológico **HEC HMS** para la conversión de lluvia en caudal fluvial.

Delimitación de la Cuenca: Se utiliza el programa **ARCGIS** (Sistema de Información Geográfica) para modelar la cuenca y delimitarla, requiriendo datos de elevación (usando un RASTER de 12,5 metros), precipitación, uso de suelo y red de drenaje.

Estimación de Sedimentación: Se emplea el **método de Gravelovic** para obtener un valor estimativo de la sedimentación de la cuenca, aunque se reconoce que su precisión puede verse afectada por la variabilidad en la naturaleza del sedimento.

Modelación de Zonas Inundables: Se utiliza el programa **HEC RAS** (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) para el análisis hidráulico, simular el flujo de agua, calcular los niveles y predecir las zonas inundables, requiriendo datos precisos y validados.

Propuesta de Herramienta: Con base en el diagnóstico del corredor fluvial, caudales, sedimentos y análisis temporal, se propone un **tablero de control** como herramienta de gestión integral.

2. Marco Conceptual

Una cuenca hidrográfica puede clasificarse en alta, media o baja. La **cuenca baja** es la parte final del sistema, donde el terreno es generalmente plano y la pendiente es mínima. En esta zona se produce el depósito de los sedimentos arrastrados por toda la cuenca. Se enfatiza el gran impacto que la parte alta y media generan sobre la parte baja, que recibe sedimentos y contaminantes.

Parámetros de una Cuenca Hidrográfica.

Se definen parámetros geomorfológicos clave:

- **Área y Perímetro:** El área es la superficie donde las precipitaciones concurren a un punto de evacuación, y el perímetro es la longitud divisoria de aguas.

- **Forma de la Cuenca:** Se mide mediante el **Coefficiente de Compacidad (Kc)** o índice de Gravelius, que relaciona el perímetro con una circunferencia de área equivalente. Un Kc cercano a uno indica una forma casi circular y un menor tiempo de concentración. También se usa el **Factor de forma (Kf)**, que explica la elongación; si tiende a uno, la cuenca es circular.

- **Elevación y Pendiente:** La altitud media de la cuenca y la curva hipsométrica representan aspectos climáticos y la distribución del área. La pendiente es crucial, ya que las zonas de alta pendiente tienen problemas erosivos y las zonas planas (bajas) tienen problemas de drenaje y sedimentación.

Con respecto a las características Hidrológicas se abordan el Balance Hídrico, la Precipitación (uso de curvas Intensidad–Duración–Frecuencia, IDF, para determinar la intensidad de las precipitaciones de diseño) y el Caudal.

2.1. Procesos Morfogénéticos: Erosión, Transporte y Sedimentación.

La **Erosión Fluvial** es el proceso de desgaste y remoción de material de la superficie terrestre por ríos. Se divide en fases mecánicas (mayor desgaste en la parte alta), intermedias y sedimentarias (mayor depósito en la parte baja). El **Transporte de Sedimentos** se realiza por carga de lecho, suspensión o solución. La **Producción de Sedimentos** se ve influenciada por el clima, la topografía, el tamaño de la cuenca y las actividades humanas. El cálculo de la producción de sedimentos (G) se puede realizar mediante la ecuación empírica de **Gavrilovic – Zemljic**.

El transporte de sedimentos fluviales es el movimiento de sedimentos, incluidas partículas de arena, limo y arcilla, a lo largo de un canal fluvial, facilitado por el flujo de agua en el río. La velocidad, la dirección y el volumen del agua del río pueden variar con el tiempo, afectando al transporte de sedimentos. Adicionalmente el transporte de sedimentos en los ríos se produce de varias maneras, ya sea por la carga de lecho, la carga en suspensión y la carga de lavado. (Báez-Munoz, 2018)

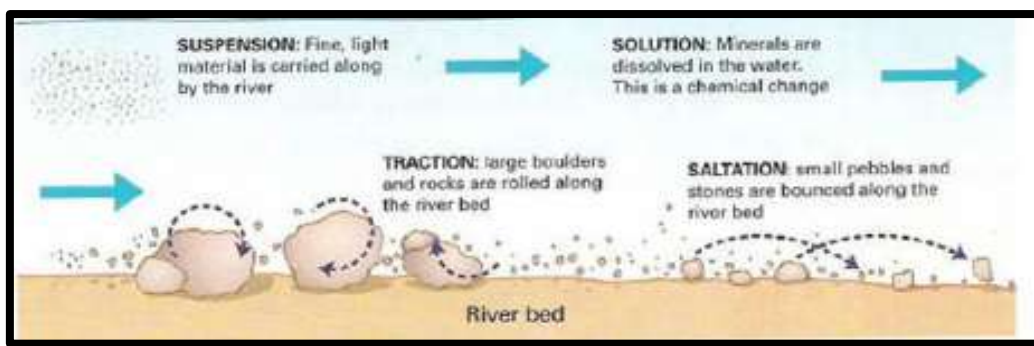


Figura 3. Tipos de transporte de sedimentos. Fuente: (Báez-Muñoz, 2018)

A pesar de las múltiples formas como es transportado el sedimento en el agua, los sólidos suspendidos generalmente constituyen la mayor parte del sedimento en transporte, sin embargo, es el transporte de fondo quién domina la morfología de los canales. (Montgomery & Buffington, 1998)

2.2. Cálculo de producción de sedimentos.

Por la complejidad de efectuar mediciones directas de la producción de sedimentos(G) el cálculo se lo puede realizar mediante técnicas de predicción, como la ecuación de Gavrilovic – Zemljic. Dicha metodología se la utiliza ampliamente en los estudios de sedimentación fluvial, ya que proporciona una forma relativamente simple y directa de estimar las tasas de sedimentación en los ríos. Adicionalmente esta metodología es ajustable con una precisión aceptable lo que permite cumplir los objetivos perseguidos.

Para determinar el volumen promedio anual erosionado de sedimentos la ecuación es:

$$W = T * h * \pi * Z^{\frac{3}{2}} * F \text{ (m}^3 \text{ / año)}$$

Donde:

h: precipitación media anual (mm/año)

F: área de la superficie (km²)

T: coeficiente de temperatura, que se obtiene de

Donde:

t: temperatura °C

Z: coeficiente de erosión

X (0.01 - 1)

Y (0.2 - 2)

φ (0.1 – 1)

Estos valores se obtienen del grado de protección del suelo dado por la vegetación, intervención antrópica, grado de resistencia a la erosión del suelo y estado erosivo de la cuenca.

<i>Descripción</i>	<i>X</i>
Selva montana.	0.05
Bosque de transición	0.15
Chaco serrano .	0.2
Bosque montano.	0.4
Pastizal serrano .	0.5
Prepuna.	0.6
Puna.	0.8
Altoandino.	0.9
Ripario.	1
Cultivo .	0.65
Médanos.	1
Suelo desnudo	1
Ciudades.	0.7

Tabla 1. Coeficiente Fuente: (Dinamica et al., 1999)

<i>Descripción</i>	<i>Y</i>
Arena, grava y tierra suelta	2
Suelo homogéneo, poroso, friable, de color amarillo pálido o beige, ligeramente coherente, normalmente no estratificado y a menudo calcáreo	1.6
Caliza y marga erosionada	1.2
Arenisca roja	1.1
Suelos típicos de los bosques de coníferas o boreales,	1
Rocas compuestas de carbonato de cal, calcita,	0.9
Suelo forestal marrón y suelos de montaña	0.8
Suelos de valle	0.6
Hummus y depositos aluviales	0.5
Rocas igneas compactadas	0.25

Tabla 2. Coeficiente Y.(Dinámica et al., 1999)

<i>Descripción</i>	<i>φ</i>
Cuenca o zona totalmente atacada por barrancos y procesos profundos de erosión	1
Alredor del 90% del area debajo de arroyos y barrancos	0.9
Alredor del 50% del area debajo de arroyos y barrancos	0.8
Area total atacada por la erosion: perdida de material y restos dispersos, erosión profunda, y erosion en roca	0.7
Area total atacada por erosion superficial, pero sin profundos efectos visibles (arroyos, barrancos, cascada)	0.6
50% del area afectada por erosion supercial, mientras el resto de la cuenca no es atacada	0.5
20% de el area atacada por erosion supeficial y 80% no es atacada	0.3
Superficie de terreno con efectos de erosion visible, cascadas menores o deslizamientos en canal	0.2
Superficie de terreno con efectos de erosion visible, cultivos	0.15
Superficie de terreno con efectos de erosion visible, mayormente bajo bosques o cultivos perennes (prados, pastos, etc.).	0.1

Tabla 3. Coeficiente φ. Fuente:(Dinámica et al., 1999)

El Coeficiente R indica la relación entre el volumen de sedimento efectivo que traspasa la sección de cierre de la cuenca y el volumen de material producido por erosión superficial. La ecuación según Zemljic (1971) es:

$$R = \frac{\left[O * D^{\frac{1}{2}} * (L + Li) \right]}{(L + 10) * F}$$

Donde:

O: perímetro de la cuenca (Km)

D: diferencia de nivel medio de la cuenca (cota media menos cota mínima, km)

Li: longitud total de los afluentes fluviales laterales (km)

L: longitud de la cuenca del cauce principal (km)

F: superficie de la cuenca (km²)

En conclusión, se sabe que los ríos son agentes modeladores de la superficie que pueden provocar la incisión vertical y la erosión lateral de los cauces; también son responsables del transporte de sedimentos de distintos tamaños y de su acumulación, sobre todo en el curso medio y bajo del río. En general, es importante comprender los procesos naturales de los ríos, incluidos sus patrones de sedimentación, para una gestión fluvial eficaz y los esfuerzos de conservación.

2.3. Gráficos de SCHUMM y de ROSGEN.

En el modelo de Schumm, los cauces se dividen en tres categorías de carga de sedimentos: (1) dominados por carga suspendida, (2) carga mixta y (3) dominados por carga de lecho (5)

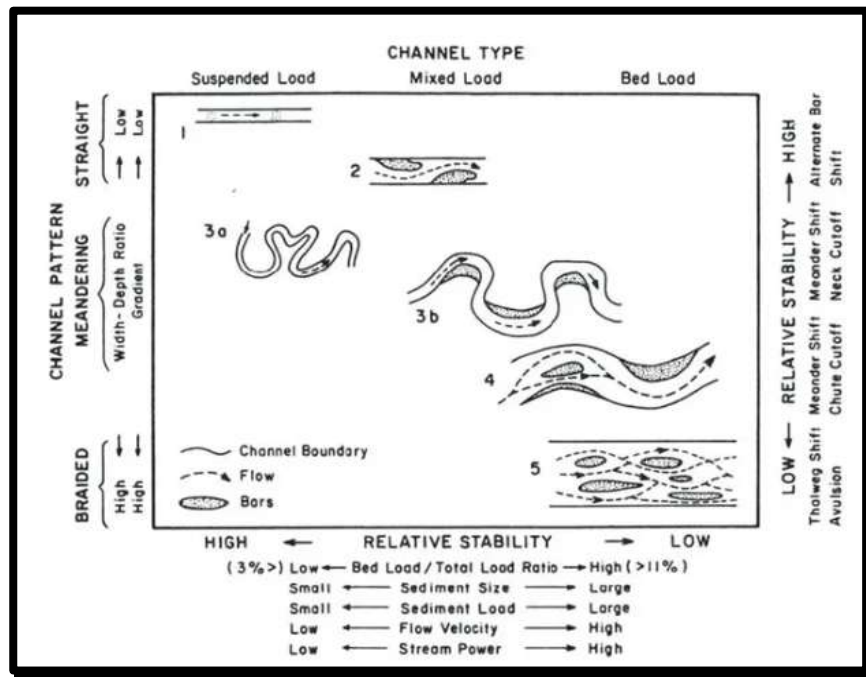


Figura 4. Esquema de clasificación de cauces basado en procesos (Schumm, 1981). Usado con permiso de SEPM. Fuente: (Lord et al., 2009)

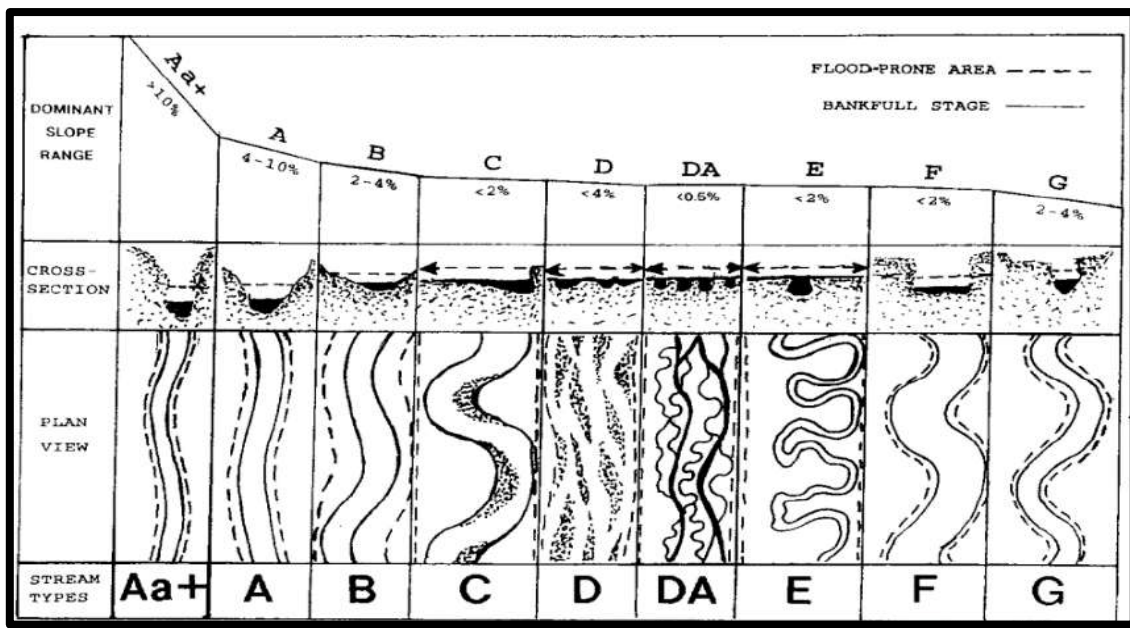


Figura 5. Vistas longitudinales, transversales y en planta de los principales tipos de corrientes fluviales. Fuente: (Rosgen, 1994)

2.4. Evaluación de Amenazas Hidrológicas

La tesis aborda el riesgo de desastre, el cual se define como la probabilidad de consecuencias perjudiciales y se calcula como el producto de la **amenaza** natural (como una inundación) por la **vulnerabilidad** del territorio. Una amenaza natural es un evento o fenómeno que puede causar daño, mientras que la vulnerabilidad se refiere a la susceptibilidad de una región a sufrir impactos negativos, influenciada por factores como la ubicación, la infraestructura y la pobreza.

La mitigación del riesgo hídrico requiere intervenir en la cuenca a través de estrategias como la **gestión del uso del suelo**, la adecuada ubicación de viviendas, la ejecución de obras hidráulicas y la instalación de **sistemas de alerta temprana** (SAT). Se subraya que, aunque se implementen medidas, el riesgo hídrico nunca se mitigará por completo.

Las cuencas enfrentan riesgos comunes, como la **contaminación del agua**, el aumento de la erosión que conduce a la sedimentación, las inundaciones y la degradación del hábitat. Estos problemas se ven agravados por actividades humanas como la agricultura, la industria y la urbanización.

Inundaciones y Período de Retorno (T): Las inundaciones son un fenómeno natural causado por lluvias torrenciales, deshielo o fallas en infraestructuras como presas. Específicamente, el calentamiento global y el cambio climático han intensificado las precipitaciones en la Amazonía ecuatoriana. La evaluación de amenazas de inundación utiliza el **Período de Retorno (T)** o "intervalo de recurrencia". Una inundación de T años tiene una probabilidad de $1/T$ de ser superada en un año determinado.

Erosión Fluvial: La **erosión fluvial** es otra amenaza hidrológica crucial, ya que genera pérdida de tierras, desplazamiento de comunidades y daños a infraestructura (carreteras, puentes, edificios), provocando pérdidas económicas significativas. Las actividades humanas, como la agricultura y la deforestación, pueden acelerar considerablemente las tasas de erosión al eliminar la cubierta vegetal.

2.5. Metodologías para el Mapeo de la Peligrosidad

La peligrosidad de una inundación se evalúa mediante criterios que miden la gravedad de las condiciones de flujo en relación con la seguridad de personas y bienes. Se utilizan variables como la **altura del agua** (\$h\$) y la **velocidad** (\$v\$). Cada vez más se incorpora el producto $h \times v$, conocido como el **parámetro de volcamiento**.

La tesis analiza cuatro metodologías para el mapeo de la peligrosidad:

1. **Metodología AIDR (Australian Institute for Disaster Resilience):** Propone seis categorías de peligro basadas en los valores de altura, velocidad y el parámetro de volcamiento, aplicables a inundaciones pluviales y fluviales.
2. **Metodología SUFRI (Strategies of Urban Flood Risk Management):** Desarrollada para inundaciones fluviales y pluviales, utiliza una clasificación de cinco niveles de gravedad (S0 a S4). En esta metodología, la altura y la velocidad son factores igualmente importantes; se destaca que cuando el producto $h \times v$ supera la unidad, el riesgo es considerable.
3. **Metodología de la Oficina Federal de la Economía de las Aguas (OFEE, Suiza):** Cuantifica el nivel de peligro según la altura de agua en calle (\$h\$) y el parámetro de volcamiento ($h \times v$), definiendo niveles Alto, Medio y Bajo de peligro.
4. **Metodología aplicada en la Cuenca Matanza Riachuelo (Argentina):** Utiliza los tres parámetros fundamentales (\$h\$, \$v\$, y $h \times v$) para determinar las condiciones de peligrosidad baja, moderada y alta. Por ejemplo, para que la peligrosidad sea baja, el producto $h \times v$ (m^2/s) debe ser menor a 0.4, \$h\$ menor a 0.5 m, y \$v\$ menor a 3 m/s, debiéndose cumplir todos los valores.

2.6. Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas (GICH)

La Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas (GICH) se basa en trabajar la cuenca como una **unidad de gestión y planificación**. Es un sistema global que integra las actividades productivas y sociales, los recursos naturales y sus interacciones, con el fin de lograr el **uso sostenible de los recursos naturales**, proteger los ecosistemas y mejorar los medios de vida.

En Ecuador, la gestión integral del agua es un **patrimonio nacional estratégico, de uso público y no privatizable**. La autoridad a cargo de la gestión integrada e integral de los recursos hídricos es el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, mientras que los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) se encargan del ordenamiento de las cuencas.

La GICH debe alinearse con la **Agenda de Desarrollo 2030**, específicamente el **ODS 6** ("Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos"), que abarca metas relacionadas con la calidad del agua, la eficiencia del uso y la conservación de ecosistemas hídricos. La **cooperación y participación ciudadana** son cruciales para la gestión hídrica, ya que los ciudadanos aportan conocimiento sobre su entorno y fortalecen la resiliencia.

2.7. Indicadores.

Los indicadores son herramientas esenciales que proporcionan datos para la **toma de decisiones**. Permiten supervisar las estrategias de gestión integral y validar la necesidad de ajustes. Los indicadores deben ser fiables, coherentes y fáciles de entender, y sus objetivos deben traducirse en **metas cuantitativas y cualitativas**.

La tesis se centra en los **indicadores técnicos**, los cuales realizan mediciones físicas de los recursos hídricos (cantidad, calidad y disponibilidad) y evalúan la eficacia de los programas de sostenibilidad. Estos indicadores, utilizados por gestores y líderes comunitarios, ayudan a comprender y exponer situaciones y tendencias relevantes. En el caso de estudio, los indicadores técnicos deben medir temas sensibles como la inundación y el impacto poblacional.

2.8. Antecedentes

La tesis utiliza la cuenca del **río Mekong** como referente a nivel mundial, debido a que enfrenta problemas similares a los del río Coca, incluyendo la alteración del flujo, la reducción de sedimentos, la contaminación y la ocurrencia de sequías e inundaciones severas.

La Comisión del Río Mekong (MRC), una identidad intergubernamental conformada por los países ribereños, fue establecida para gestionar los problemas y disminuir los conflictos al facilitar la cooperación y el diálogo en temas de recursos hídricos. Para ello, la MRC desarrolló la Estrategia de Desarrollo de la Cuenca del Río Mekong 2021-2030, un plan integral destinado a promover la gestión sostenible de la cuenca, enfocándose en objetivos estratégicos como mejorar la gestión de los recursos hídricos y promover la adaptación y mitigación al cambio climático. Para el monitoreo, evaluación y reporte de informes de esta estrategia, la MRC creó un cuadro de mandos (dashboard) que proporciona a los responsables de la toma de decisiones información sobre la salud general de la cuenca en cinco dimensiones estratégicas: medioambiental, social, económica, climática y de cooperación. Este tablero emplea indicadores clave que miden resultados y buscan reforzar la resiliencia frente a los riesgos climáticos, como inundaciones extremas y sequías. Un ejemplo de indicador clave es el Grado de operatividad de la red básica de vigilancia fluvial. Dado que la cuenca del río Coca enfrenta riesgos hidro-sedimentológicos similares a los observados en la cuenca del río Mekong, la tesis propone desarrollar un centro de control o tablero similar al implementado en el Mekong para lograr una gestión integral.

2.8.1. Aplicación de Indicadores

Se realizó un taller en mayo 2011 en Argentina acerca de cómo construir indicadores de gestión de cuencas, tuvo la participación de varias instituciones y universidades como la Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria, Instituto Nacional del Agua, Universidad Nacional de Cuyo, la Universidad Nacional del Litoral y la Universidad Tecnológica Nacional. Fue financiado por Cap-Net y se abordó temas sobre planificación, control e indicadores, destacando la relación con la planificación estratégica. Además, se presentaron resúmenes de disertaciones, casos reales, resultados de trabajos grupales y se ofrecieron recomendaciones para dar continuidad a esta iniciativa.

Se realizaron talleres, donde la finalidad fue establecer un enfoque metodológico destinado a la creación de indicadores con el propósito de monitorear la gestión de cuencas. Las instrucciones del trabajo apuntaron a proponer indicadores los cuales deben cumplir los pasos metodológicos propuestos en las exposiciones, los cuales se presentan a continuación:

- 1) Definición de función y/o objetivo estratégico que requiere ser monitoreado;
- 2) Objetivo específico que se va a monitorear,
- 3) Nombre del indicador;
- 4) Fórmula (u expresión de la medición, en caso que no sea una función matemática);
- 5) Fuentes alternativas para la obtención de los valores del indicador;
- 6) Frecuencia del relevamiento.

A continuación, se presenta un ejemplo hipotético y lo obtenido en el taller con los anteriores parámetros.

Tipo	Función /Objetivo	Acción	Descripción del Indicador	Función	Fuente
Técnicos	Asignación de recurso hídrico a principales usuarios y usos, manteniendo uso social y ambiental en marco de equidad y desarrollo social	Autorizar usos de acuerdo a las regulaciones	Permisos expedidos	Cantidad ó %	Interna
			Cantidad de pedidos no autorizados	Cantidad ó %	
		Preservar caudales para uso ambiental	Caudal asignado	Caudal % de caudal	
	Financiamiento para el desarrollo sustentable del recurso/ Obtener financiamiento sustentable en largo plazo	Procurar financiamiento para las cuestiones prioritarias de la gestión	Nivel del financiamiento.	Medida cualitativa ordinal (Nada,, Poco, Algo, Suficiente)	Interna
			Financiamiento en marcha: Existe	Medida cualitativa binomial: SI/No	Interna
	Gerenciamiento efectivo / Establecer un sistema de información para administradores y usuarios de apoyo a las decisiones	Desarrollar sistemas de información	Nivel del sistema de información	Medida cualitativa ordinal	Interna
			Existe información en SIG	Medida cualitativa ordinal	Interna
	Prevención del deterioro de los recursos hídricos por calidad y excesiva explotación/ Controlar la calidad y el uso eficiente del recurso	Control de la contaminación del recurso	Efluentes industriales tratados in situ	Caudales Cantidad, %	Interna
			Índice de calidad de agua. Muestras de calidad de agua que cumplen con estándar	% de muestras que cumplen el estándar	Internos, controles propios, auditorías Externos
		Controlar la seguridad del suministro de agua a los usuarios	Eficiencia de riego	% (fórmulas de eficiencias)	Externo, Mixtos
			Superficie irrigada	Hectáreas	Externo (censos), interno
		Frenar la contaminación salina del agua subterránea	Cantidad de perforaciones en mal estado cerrados	% de pozos cegados	Interna

Tabla 4. Ejemplo hipotético de Indicadores con el propósito de monitorear la gestión de cuencas. (Mendoza, 2011)

I Función/Objetivo Estratégico	II Línea Acción/Objetivo específico	III Indicador		IV Fórmula o explicación de su obtención	V Fuente de datos	VI Frecuencia
		Nombre	Cuenca			
Prevención al deterioro del sistema acuífero ante la explotación tanto en calidad como en cantidad.	Determinar la dependencia de la población servida con agua subterránea.	Dependencia del agua subterránea	Acuífero (local)	Población que consume agua subterránea/población total (%)	Interna / externa	Anual
	Registrar los volúmenes de explotación.	Explotación del agua subterránea	Acuífero local/reg.	Extracción agua subterránea (m3/año)/Disponibilidad de agua subterránea (m3/año). %	Interna / externa	Estacional
	Monitorear la calidad química del agua disponible.	Índice de calidad del agua subterránea.	Local regional	Áreas con problemas de calidad/área total del acuífero considerado.	Interna / externa	Semestral
	Identificar otras fuentes de explotación de agua subterránea.					
	Monitorear los niveles piezométricos.					
	Identificar la articulación entre usuarios, municipios y empresa.	Grado de participación		Número de reuniones /Año Número de acuerdos /Año.	Interno / externo	
		Satisfacción del usuario		Número de respuestas / Encuestas realizadas.	Interno / externo	

Tabla 5. Tabla desarrollada por el grupo 2. (Mendoza, 2011)

I Función/Objetivo Estratégico	II Línea Acción/Objetivo específico	III Indicador		IV Fórmula o explicación de su obtención	V Fuente de datos	VI Frecuencia
		Nombre	Cuenca			
Prevención del recurso hídrico en términos de servicios ecológicos. (Indicadores técnicos)	Mantener / Recuperar en cantidad y calidad el agua.	Cantidad de biomasa vegetal.	Interjurisdiccional.	Biomasa por unidad superficie /Superficie total %.	CONAE Organismos de investigación Universidades	Estacional Anual
		Pérdida de materiales	Interjurisdiccional	Ton suelo/km2/año	Relevamiento datos Instituto Investigación Nacional	Anual
Promover la Existencia de organizaciones de gestión de cuenca agrupadas. (Indicadores de gobernabilidad)	Asegurar la participación de organizaciones públicas y privadas en la cuenca.	Cantidad de organizaciones que integran el Comité de la cuenca	Interjurisdiccional	No organizaciones que participan/Nº total de organizaciones existentes en la cuenca. (%)	Relevamiento datos Instituto Investigación Nacional	Anual
		4. Tipo de involucramiento en la cuenca y perdurabilidad representante			Relevamiento datos Instituto Investigación Nacional	Anual

Tabla 6. Tabla desarrollada por el grupo 3. Fuente: (Mendoza, 2011)

El artículo “Indicadores para el monitoreo y evaluación hacia la Gestión Integral de recursos hídricos (GIRH)” (Buccheru & Comellas, 2015) presenta una investigación aplicada que introduce una herramienta para los organismos encargados de la gestión de los recursos hídricos, enfocada en la aplicación de indicadores para evaluar y monitorear la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), especialmente durante las etapas de planificación y control. Este trabajo se basa en los Principios de Dublín y en los Principios Rectores de Política Hídrica de Argentina, reconociendo la cuenca como unidad territorial para la gestión coordinada del agua y el monitoreo como elemento esencial para una gestión sostenible. La disponibilidad de información accesible es crucial para las instituciones responsables, abordando tres dimensiones críticas: gobernabilidad, aspectos técnicos y cambio climático. Se desarrollan indicadores que proporcionan una línea de base del estado del recurso y seguimiento de los planes, así como aspectos socioeconómicos e institucionales, promoviendo la equidad y el desarrollo local. Estos indicadores se clasifican según el modelo PER de la OECD para ofrecer una herramienta que evalúe la gestión integral de los recursos hídricos.

Esta investigación propone un conjunto mínimo de indicadores destinados a diagnosticar y detectar problemas en una cuenca o territorio específico. Se reconoce que la selección de indicadores debe adaptarse a las necesidades particulares del sistema en cuestión, y no existe una fórmula universal aplicable en todos los casos. Ya sea para monitorear el progreso hacia una gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) o para abordar problemáticas específicas relacionadas con la sustentabilidad del agua, cada propuesta de indicadores se ajusta a las circunstancias y objetivos particulares de cada programa o proyecto. (Buccheru & Comellas, 2015)

3. Localización.

3.1. Localización y Planificación.

La cuenca hidrográfica del río Coca se localiza en la Amazonía ecuatoriana, dentro de la región de transición conocida como Zona Subandina, y es parte de la cuenca del río Napo. Ecuador tiene 37 cuencas hidrográficas, de las cuales 30 vierten en el río Amazonas. La zona de estudio alberga la ciudad de Francisco de Orellana ("EL COCA") y obras de infraestructura críticas, incluyendo la carretera E-45, el sistema de oleoductos SOTE-OCP y la central hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.

La cuenca ha enfrentado severos impactos ambientales y geológicos, siendo la **desaparición de la cascada San Rafael en 2019** el evento más reciente que generó **erosión regresiva**. Esto provocó la rotura de las tuberías SOTE-OCP, contaminando el río y poniendo en riesgo la infraestructura, además de causar daños ambientales en poblaciones rurales y en la ciudad de El Coca. La gestión del agua en Ecuador es considerada **patrimonio nacional estratégico** y la cuenca del río Coca forma parte de la planificación hidráulica regional de la cuenca del Napo.

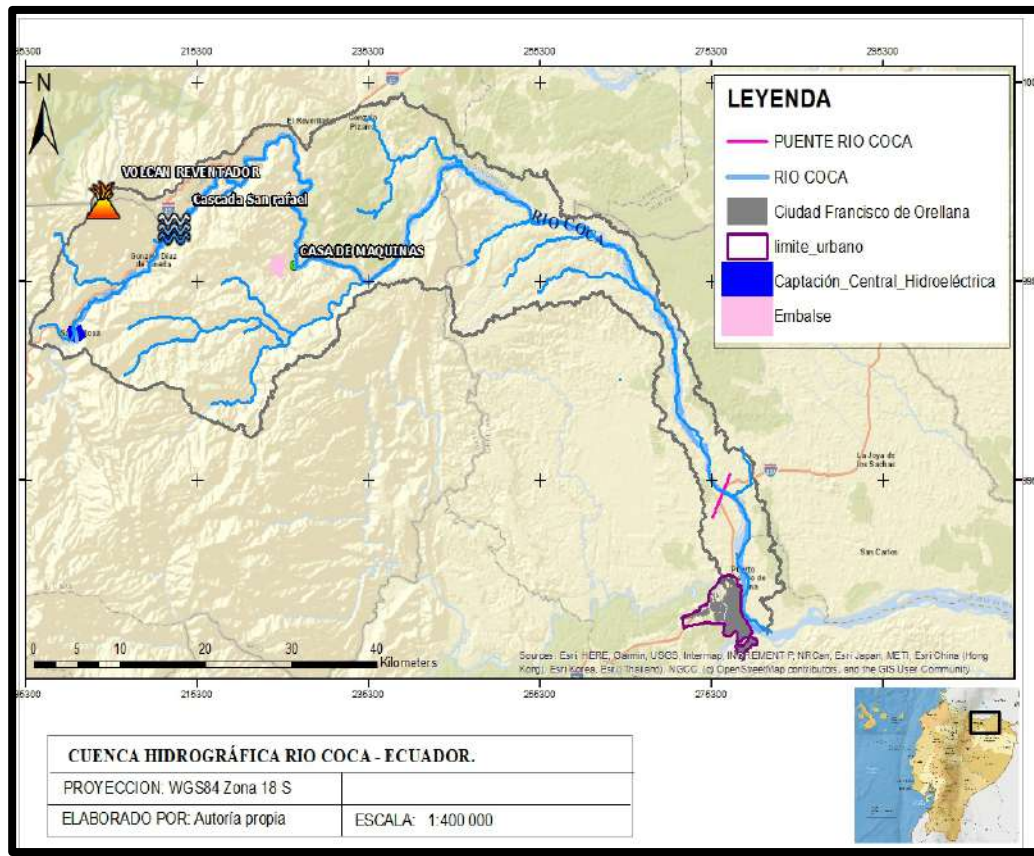


Figura 6. Ubicación de Volcán Reventador, Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, Ex cascada San Rafael, ciudad Francisco de Orellana. Fuente: Autoría Propia.

3.2. Características Geográficas.

El río Coca tiene una longitud de **245.1 km** y una escorrentía media anual de 10,694 hm³, naciendo de la confluencia del río Quijos y el río Cascabe.

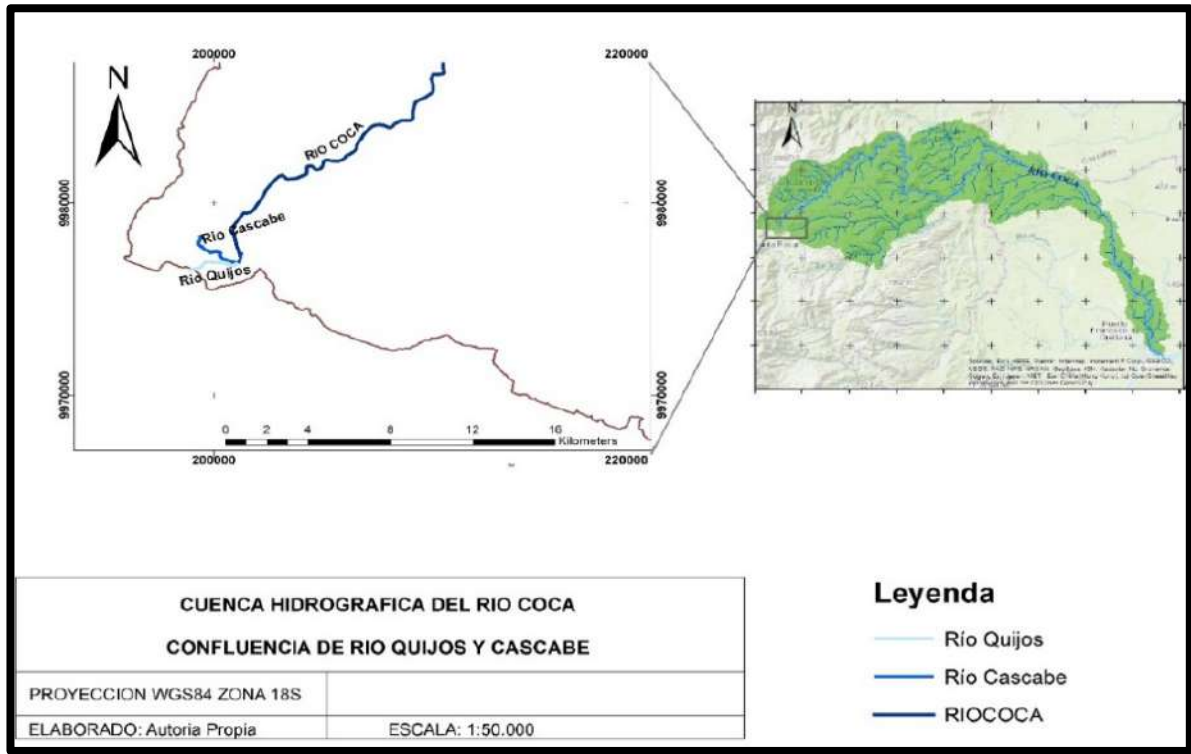


Figura 7. Confluencia del río Quijos y río Cascade. Fuente: Autoría propia.

- **Edafología:** Los suelos predominantes en el área de estudio son **arcillosos-limosos y limo-arenosos**.
- **Parámetros Fisiográficos:** El análisis de los parámetros fisiográficos indica que la cuenca es **casi rectangular y alargada**. La curva hipsométrica corresponde al **tipo C**, lo que significa que la cuenca es **sedimentaria** y se encuentra en su **fase de vejez**.

PARÁMETROS FISIOGRÁFICOS DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA			
PARÁMETROS		UNIDAD DE MEDIDA	Cuenca Hidrográfica
Parámetros de forma de la cuenca	Área total de la cuenca	km ²	5303.6020
	Perímetro de la cuenca	km	562.65
	Longitud de río principal	km	169.56
	Ancho promedio de la cuenca	km	31.28
	Coeficiente de compacidad	-	2.18
	Factor de forma	-	0.1845
	Radio de Circularidad	km	0.2105

Tabla 7. Parámetros Fisiográficos de una Cuenca Hidrográfica. Fuente: Autoría Propia.

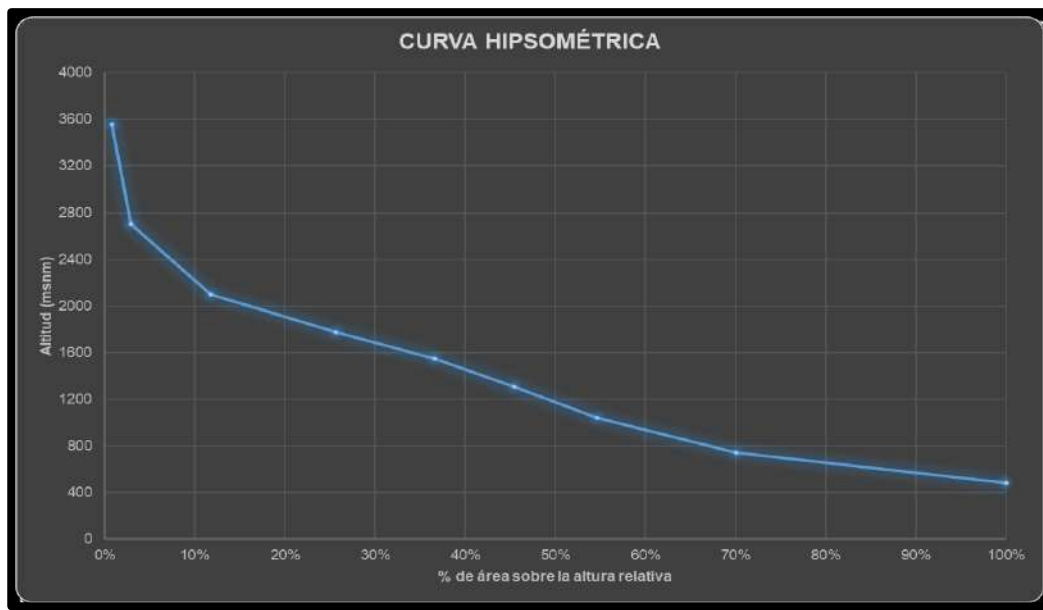


Figura 8. Curva Hipsométrica de Cuenca río Coca. Fuente: Autoría propia.

- **Altitud y Pendiente:** La altura media de la cuenca es de **275.26 msnm**, y la pendiente media es de **24.015%**.

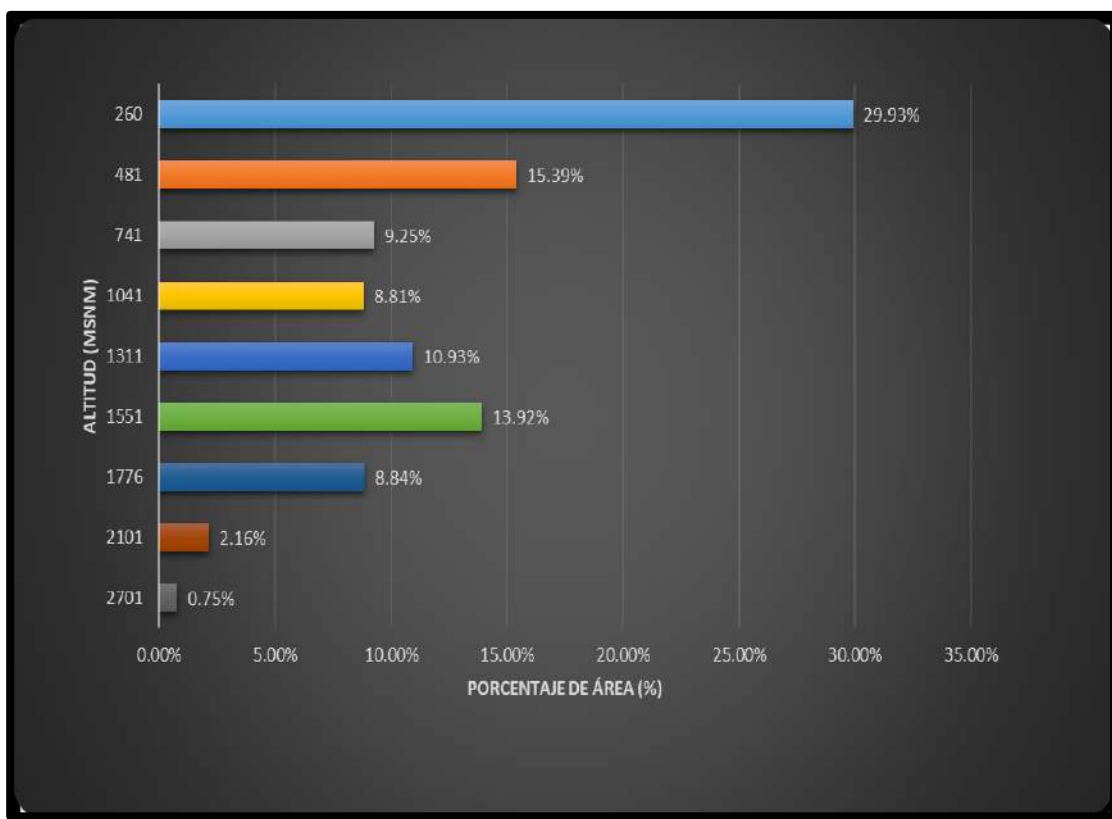


Figura 9. Polígono de Frecuencias relativas de la cuenca hidrográfica del río Coca. Fuente: Autoría propia.

Como se observa en la gráfica anterior a la altitud de 260 msnm es donde se encuentra una mayor distribución del área del total de la cuenca hidrográfica.

3.3. Descripción General de Francisco de Orellana.

La ciudad de Puerto Francisco de Orellana, conocida como "EL COCA", se sitúa en la confluencia de los ríos Coca, Payamino y Napo. La ciudad es vulnerable y está expuesta a diversos problemas ambientales y antrópicos, incluyendo la **contaminación de sus ríos, erosión fluvial, inundaciones** y un **crecimiento urbano sin planificación**.

La cantidad poblacional en base al censo nacional desde el año 2001 se lo representa en la siguiente tabla:

Población según censos nacionales					
Año	Población	Intervalo de tiempo [años]	Crecimiento poblacional	Crecimiento porcentual [%]	Tasa media de crecimiento [%]
2001	18296	9	22433	122.6	9.30
2010	40729	12	18375	45.1	3.15
2022	59 104				

Tabla 8. Población según censos nacionales y tasa media de crecimiento. Fuente: Autoría propia.

En base a la tasa media de crecimiento de la ciudad se nota que del año 2001 al 2010 hay un crecimiento del 9% ya que en esos años existió un gran crecimiento de producción petrolera, lo que originó gran migración hacia la ciudad. Pero a partir del año 2010 el crecimiento fue casi del 3%, se podría decir que fue por causa de una estabilización en el crecimiento poblacional.

La ciudad se enfoca en tres pilares económicos principales: **petróleo, agricultura y turismo**. Su ubicación es estratégica, ya que se encuentra cerca de la afluencia de los ríos, lo que facilita la comunicación con las empresas petroleras y agrícolas.

3.4. Resultados de Análisis y Modelación

Para el análisis, la cuenca hidrográfica del río Coca se dividió en **cinco subcuencas** para modelar de manera más precisa el caudal y la sedimentación.

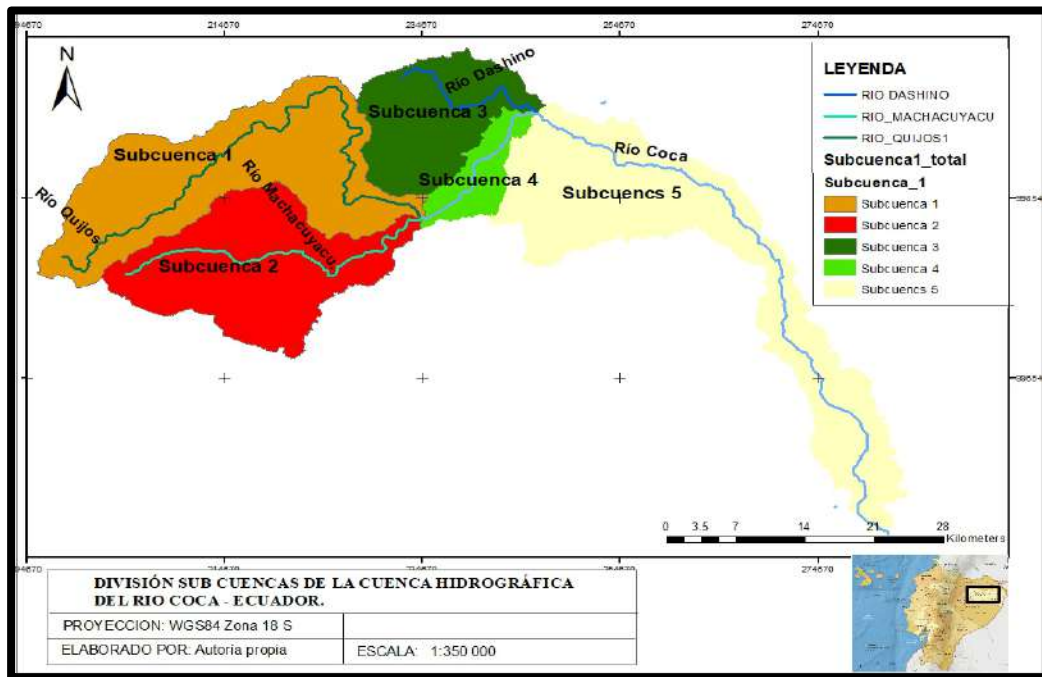


Figura 10. Subcuencas de la cuenca hidrográfica del río Coca. Fuente: Autoría propia.

3.4.1. Análisis de Caudales (HEC-HMS)

Para el cálculo del caudal en distintos tiempos de retorno, se utilizaron datos de estaciones como Río Salado, Reventador y Coca Aeropuerto, empleando las ecuaciones de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (I-D-F). Los resultados de la modelación con HEC-HMS son:

- **Caudal para 5 años de retorno:** 4,545 m³/s
- **Caudal para 100 años de retorno:** 7,458 m³/s

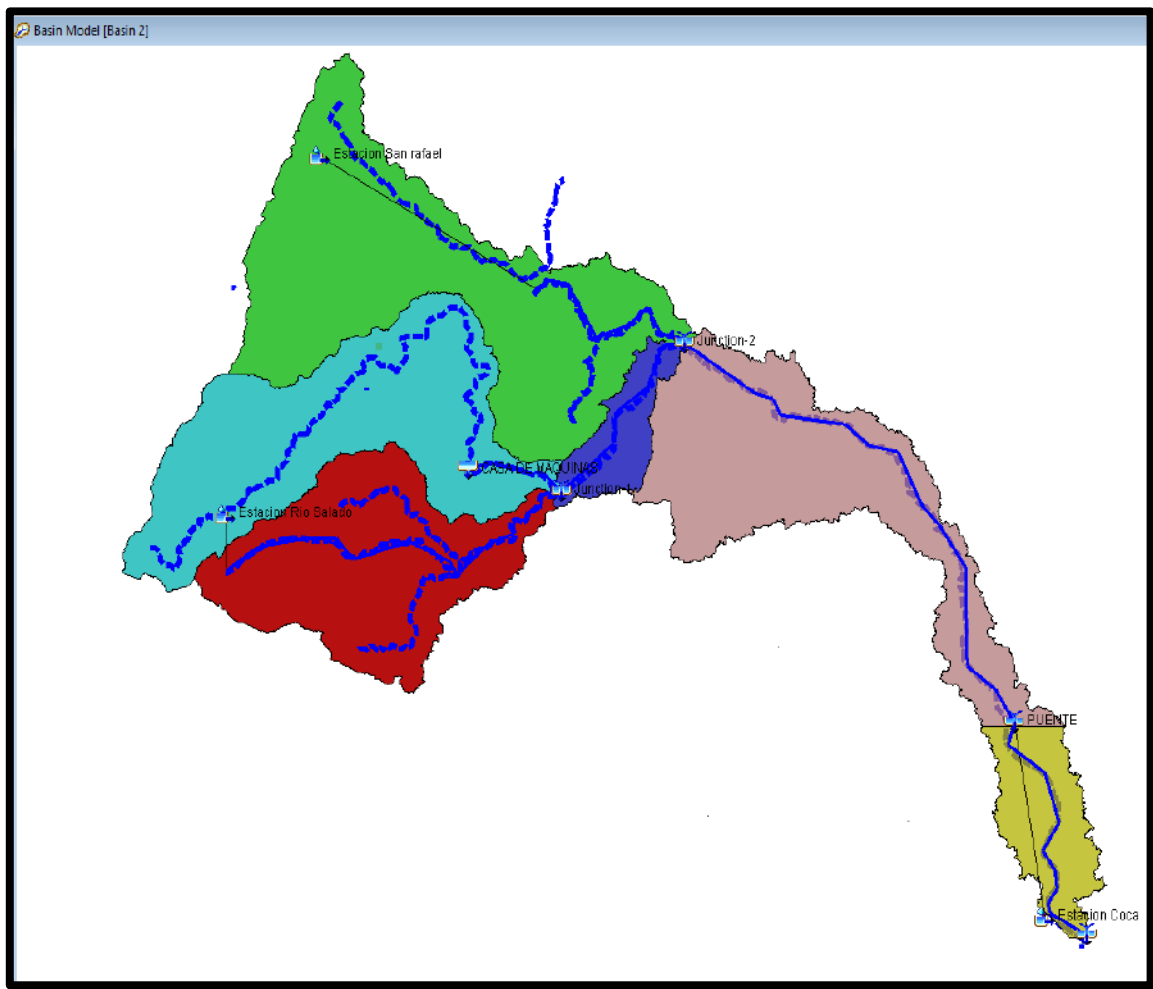


Figura 11. Modelación para el cálculo de caudales. Fuente: Autoría propia.

3.4.2. Sedimentación

Se empleó la ecuación de **Gavrilovic** para estimar la tasa de producción de sedimentos.

- **Tasa de Producción:** La tesis determinó que la tasa de producción de sedimentación que se genera en la cuenca es de aproximadamente **220 millones de metros cúbicos por año**.

- **Nivel de Degradación:** La cuenca del río Coca presenta un **Nivel 6 de Degradación muy alta** en la zona alta y un nivel **moderado** en la zona baja, cerca de la ciudad.

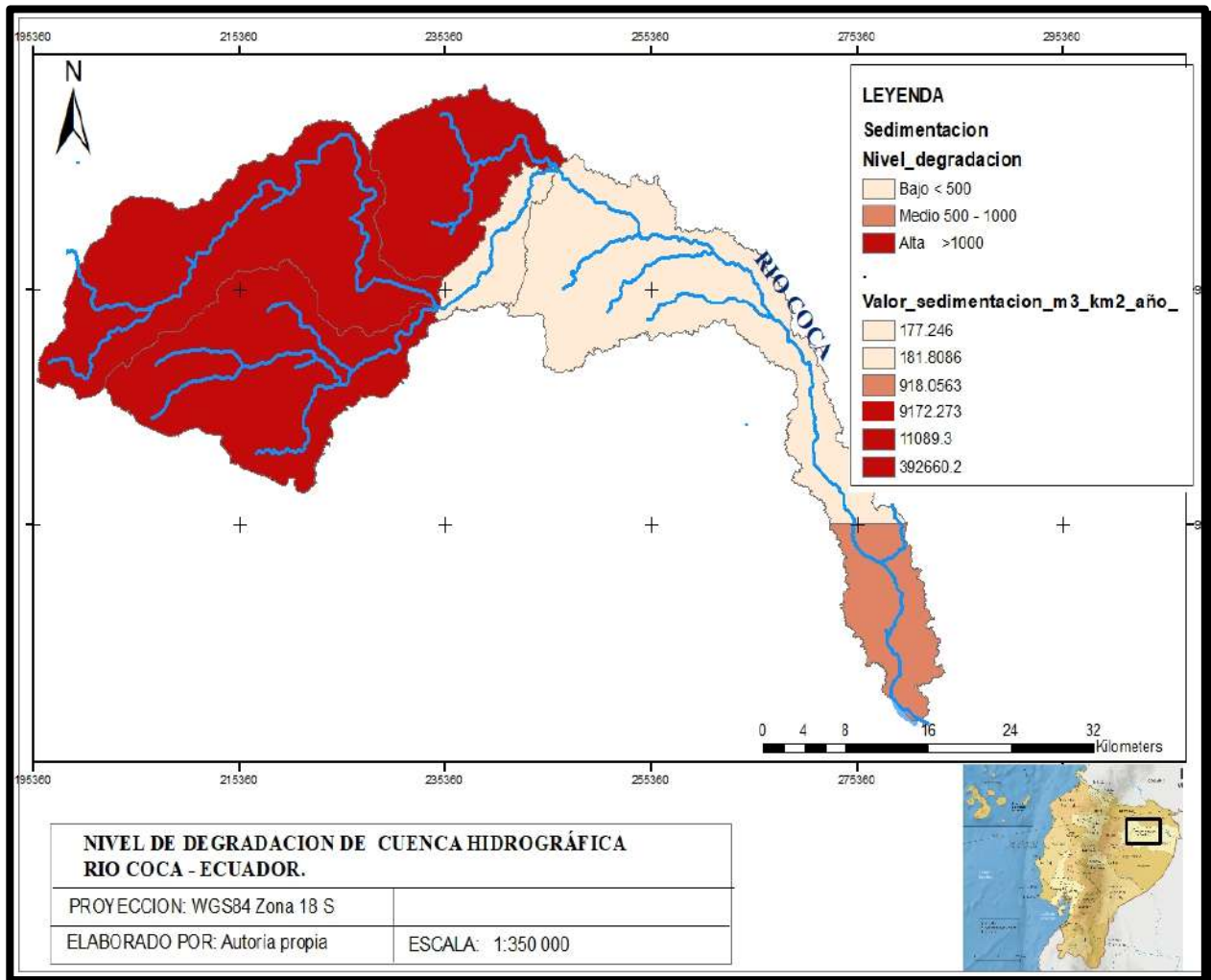


Figura 12. Nivel de degradación de la cuenca hidrográfica del río Coca. Fuente: Autoría propia.

En síntesis, la evaluación del estado de la cuenca hidrográfica del río Coca revela un nivel alto de degradación en la zona alta, un nivel bajo en la zona media y un nivel moderado en la zona baja. Es relevante señalar que, en la proximidad de la ciudad, se identifican niveles de degradación moderados en dicho sector.

3.4.3. Riesgo Hidrológico de Inundación

Un análisis de riesgos y vulnerabilidad basado en estudios previos y modelación (HEC RAS) indica que:

- **Población en Riesgo:** El **40% de la población** ubicada en las laderas del río Coca está expuesta a inundación, afectando aproximadamente a 1,800 personas por inundación y hasta 3,390 por deslizamiento.
- **Zonas de Peligro Alto:** Se delimitan por la línea de inundación calculada para el caudal de avenida con un **período de retorno menor o igual a 10 años**.
- **Zonas de Peligro Medio:** Corresponden a caudales con períodos de retorno entre 10 y 100 años.
- **Zonas de Peligro Bajo:** Corresponden a caudales con un período de retorno mayor o igual a 100 años.

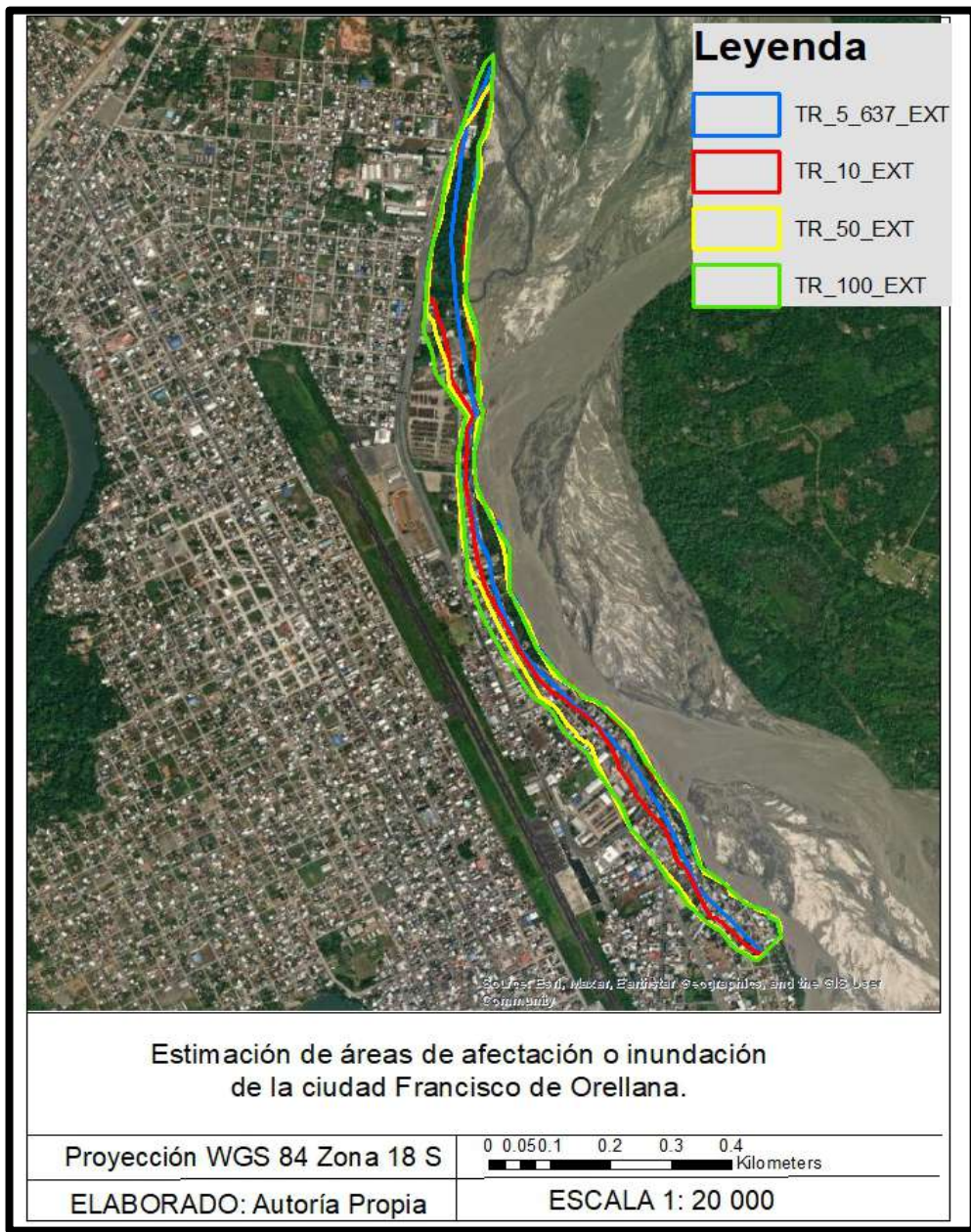


Figura 13. Mapa de estimación de áreas de afectación o inundación de la ciudad, linderas al río Coca. Fuente: Autoría propia.

3.4.4. Riesgo de Erosión Fluvial

La erosión fluvial afecta de manera significativa las riberas cercanas a grandes ríos. Las **zonas de erosión alta** son causadas por salientes en el terreno que fuerzan cambios en la dirección del río. Las **zonas de erosión media** se ven facilitadas por la tala de árboles, la ganadería y la remoción de materiales, lo que aumenta la permeabilidad del suelo. Los suelos menos permeables y los materiales sueltos, como las arcillas, aumentan la vulnerabilidad de la zona.

10

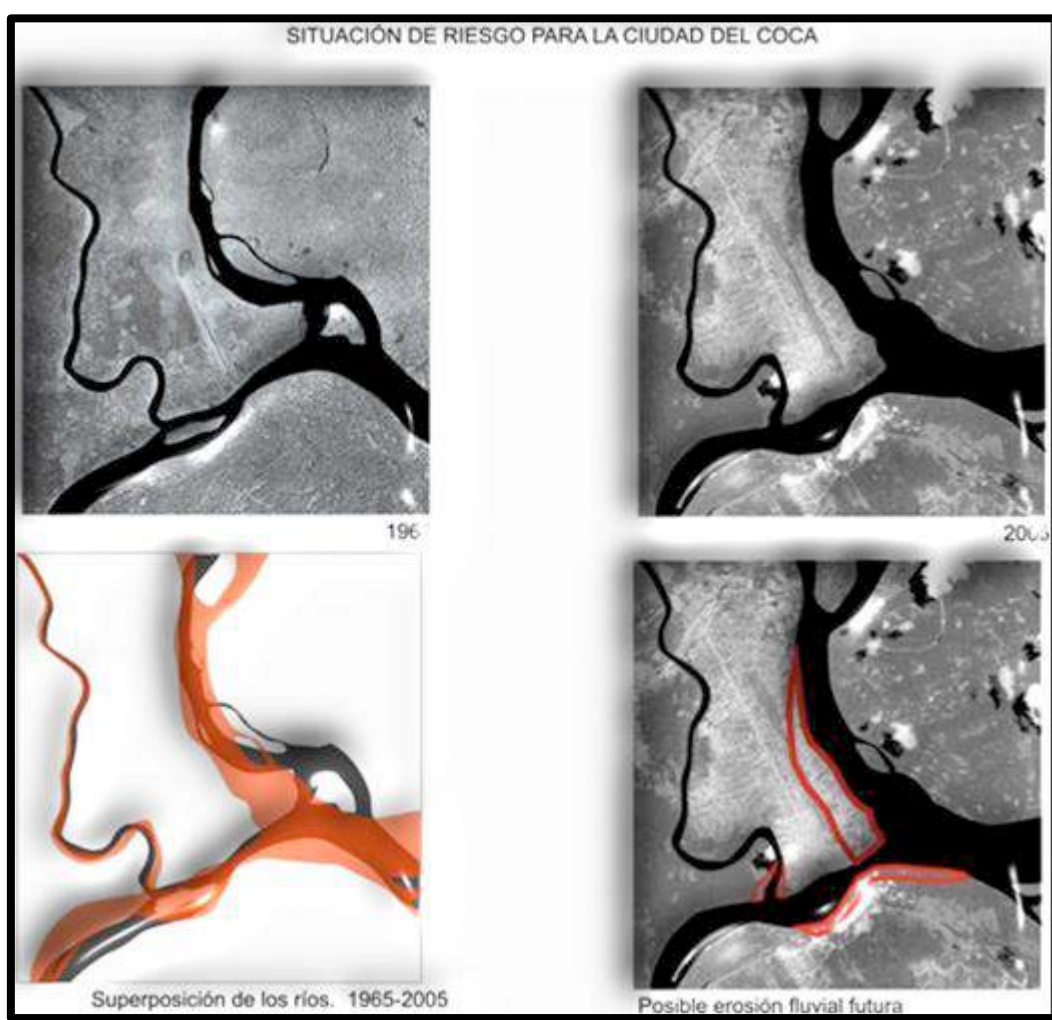


Figura 14. Mapa de erosión de las laderas del río Coca. (Gestión de Riesgos GADM., 2014)

En conclusión, en la ciudad Francisco de Orellana, diversas edificaciones se encuentran en proximidad a zonas de alta erosión, especialmente en suelos menos permeables. La

naturaleza del terreno, especialmente los materiales sueltos e impermeables como las arcillas, aumenta la vulnerabilidad. El sobrepastoreo, derivado del exceso de carga ganadera, compromete la vegetación y favorece la erosión al dejar los suelos desprotegidos. Además, la deforestación considerable en las cabeceras parroquiales contribuye a la pérdida de firmeza del suelo, evidenciando la necesidad de medidas de gestión y mitigación en la región.

4. Tablero de control.

El tablero se estructura con tres niveles de acciones, cada uno con su método de evaluación correspondiente, ofreciendo una representación visual de los indicadores para una ejecución eficiente con metas tanto cualitativas como cuantitativas, el indicador, su respectivo desarrollo y los actores, los cuales son los encargados de la ejecución del tablero.

El primer nivel de acción se enfoca en la gestión para la planificación y ejecución coordinada de estrategias destinadas a prevenir, supervisar y evaluar de manera constante las zonas de inundación. Mediante la evaluación de nivel de crecidas y la ejecución de un sistema de alerta temprana.

El segundo nivel se orienta hacia el monitoreo y evaluación de la estabilidad del cauce. El monitoreo de la gestión de cuencas mediante indicadores es un proceso que proporciona información para ayudar a la planificación, desarrollo y gestión de los recursos hídricos (International Network of Basin Organization, INBO, 2009). De esta manera los indicadores, estarán relacionados con las metas del plan de acción de la gestión de la cuenca.

Finalmente, el tercer nivel aborda la gestión de proyectos, incluyendo la planificación, el control y el seguimiento en la construcción de obras, mediante la utilización del método del valor ganado (EVM)

La organización y la estructura del tablero facilitan la obtención de información oportuna y relevante en el momento de tomar decisiones, así como en la implementación de acciones estratégicas para lograr la gestión integral de la cuenca baja de un río y el desarrollo resiliente de una ciudad ubicada en la parte baja de la cuenca.

4.1. Gestión para la planificación y ejecución coordinada de estrategias para prevenir, supervisar y evaluación constante de las zonas de inundación.

Para lograr la planificación y ejecución coordinada de estrategias para prevenir, supervisar y evaluación constante de las zonas de inundación en la parte baja de la cuenca se propone la evaluación del nivel de crecida de inundación de la ciudad y un sistema de alerta temprana, los cuales serán evaluados mediante indicadores.

4.1.1. Establecer franjas de protección frente a inundaciones fluviales en zonas cercanas a ríos.

Las medidas que se plantea en los planes de gestión con respecto a la ordenación de territorio y urbanística es mediante la aplicación de la normativa de limitación de usos en zonas inundables la cual evita que se implanten nuevos desarrollos urbanísticos o actividades vulnerables sin las adecuadas medidas de protección. Por lo tanto, es importante contar con indicadores que establezcan franjas de protección frente a inundaciones; un ejemplo de uso de estos indicadores es en la aplicación de la normativa española, la cual proporciona un conocimiento y una evaluación de los riesgos de inundación adecuados en el territorio español, de igual manera se la utiliza en la normativa ecuatoriana.

En la actual RESOLUCIÓN Nro. SGR-045-2023 Ecuatoriana (Estándares Mínimos de Prevención y Mitigación de Riesgos Para El Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo y Para La Edificación Estándares Para Cumplimiento de Los Artículos 8 y 91 de La LOOTUGS, 2023) establece la creación de franjas de protección contra inundaciones en áreas cercanas a ríos, determinadas técnicamente para un período de retorno de crecida máxima de al menos 50 años. Se propone utilizar límites de eventos extremos para áreas donde no se permite infraestructura crítica y límites de eventos ordinarios para prohibir la urbanización. Si ya hay urbanización en la franja de eventos ordinarios, se deben aplicar restricciones para limitar la densificación urbana.

En ausencia de estudios hidrológicos, se puede establecer temporalmente una franja de 100 metros desde el cauce o la máxima extensión ordinaria en embalses, según el Reglamento de la LEY RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA DEL ECUADOR (LORHUA).(LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA., 2014) Se menciona la posibilidad de imponer restricciones al uso del suelo en zonas intermedias y se destaca que, en cuerpos de agua como lagos o lagunas, los retiros mínimos se basan más en aspectos ambientales que en la gestión de riesgos.

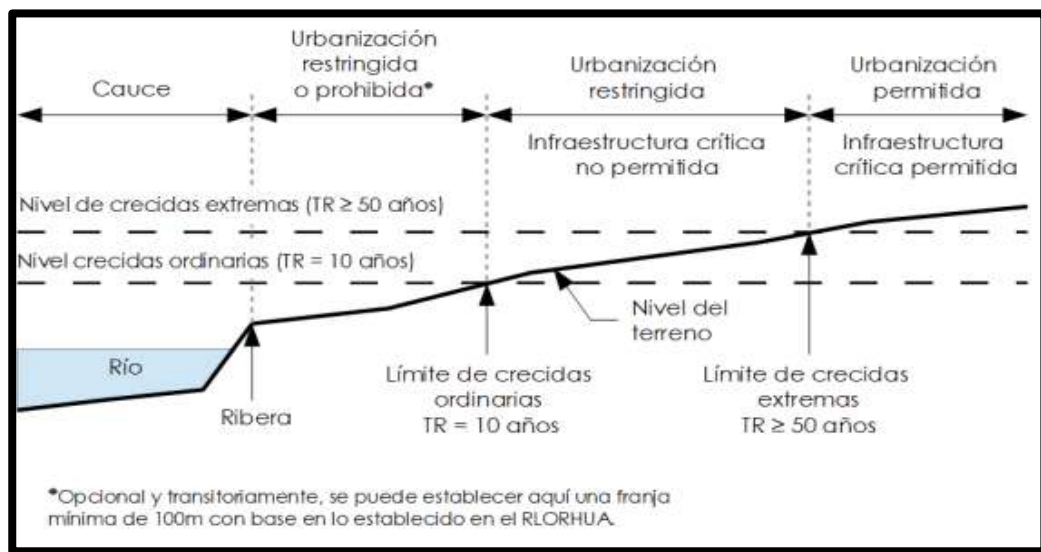


Figura 15. Establecimiento de franjas de protección frente a inundaciones fluviales (sección transversal). Fuente: (Estándares Mínimos de Prevención y Mitigación de Riesgos Para El Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo y Para La Edificación Estándar.

“En función de la importancia que revisten los cuerpos de agua para la zona y la cercanía de la población urbana y rural a los mismos, se definirán los tramos fluviales sobre los cuales se debe realizar las modelaciones hidrodinámicas con período de retorno de 10 años, 50 años y 100 años, para determinar las zonas de inundación y evaluar la exposición a inundaciones.” (Estándares Mínimos de Prevención y Mitigación de Riesgos Para El Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo y Para La Edificación Estándares Para Cumplimiento de Los Artículos 8 y 91 de La LOOTUGS, 2023)

Existe en España el Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación (EGRI), la cual establece la necesidad de identificar las zonas con mayor riesgo, denominadas como áreas de riesgo potencial significativo de inundación (ARPSIS) y de realizar en ellas mapas de peligrosidad de los siguientes escenarios: a) Alta probabilidad de inundación (periodo de retorno igual a 10 años). b) Probabilidad media de inundación (periodo de retorno igual a 100 años). c) Baja probabilidad de inundación o escenario de eventos extremos (periodo de retorno igual a 500 años).

Cabe recalcar que en el Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, (EGRI) española en artículo 3 inciso h menciona:

“Inverso de la probabilidad de que en un año se presente una avenida superior a un valor dado. En términos numéricos, es equivalente a la probabilidad de que se presente un caudal de avenida igual o superior en un determinado año, es decir, la probabilidad de que se supere el caudal en un año. Por ejemplo:

- *Para un periodo de retorno de 10 años (T10) existe un 10% de probabilidad de que en un año se supere ese valor de caudal.*
- *Para un periodo de retorno de 100 años (T100) la probabilidad anual sería del 1%.*
- *Para un periodo de retorno de 500 años (T500) la probabilidad anual sería del 0,2%.*

Establecer franjas de protección frente a inundaciones fluviales en zonas cercanas a ríos es esencial por diversas razones. En primer lugar, contribuye a la mitigación de riesgos, ya que las áreas ribereñas son propensas a inundaciones durante eventos extremos como lluvias intensas. Además, estas franjas desempeñan un papel crucial en la conservación de ecosistemas, al actuar como zonas amortiguadoras que preservan la biodiversidad, previenen la erosión del suelo y conservan la calidad del agua. Asimismo, facilitan el control de crecidas al proporcionar espacio para que el agua se disperse y se absorba en el suelo, reduciendo la velocidad y altura del agua en áreas urbanas. Por último, el establecimiento de estas franjas previene daños a la infraestructura construida, como carreteras y edificaciones, ofreciendo una protección efectiva durante estos eventos

Cuando ya existe urbanización en áreas susceptibles a inundaciones fluviales, se requieren medidas específicas para minimizar riesgos y mitigar impactos. Esto implica la

implementación o mejora de infraestructuras de control, como diques o presas, con el fin de reducir la probabilidad de que el agua afecte zonas urbanas. Además, se deben establecer zonas de evacuación seguras con rutas claras para facilitar una evacuación ordenada en caso de inundaciones. Es esencial aplicar y hacer cumplir normativas de construcción **que restrinjan el desarrollo urbano** en zonas de alto riesgo, esto igualmente permite desarrollar sistemas de alerta y monitoreo temprano para informar a la población sobre posibles inundaciones, posibilitando una respuesta oportuna. La educación y concientización de la comunidad sobre los riesgos asociados y la importancia de seguir medidas de seguridad completan un enfoque integral para gestionar las inundaciones en áreas urbanizadas propensas a inundaciones.

Para determinar los parámetros de este indicador, se tomará como referencia las dos resoluciones previamente presentadas. La asignación de colores se definirá de la siguiente manera en base al Decreto 903/2010 español: el color rojo se asociará a un periodo de retorno de 10 años, indicando que hay un 10% de probabilidad de que ocurra ese nivel de crecida ordinaria en un año. Por otro lado, el color amarillo se asignará a un periodo de retorno superior a 50 años, señalando que existe un 2% de probabilidad de experimentar un nivel de crecida extrema. Esta clasificación basada en la probabilidad permitirá una visualización clara y efectiva de los niveles de riesgo asociados a diferentes periodos de retorno en relación con las crecidas fluviales.

A continuación, se presenta el tablero de control con su respectivo indicador, las metas y las partes interesadas. Cabe recalcar que los colores utilizados de esa manera se basan en el Decreto 903/2010 español, el cual se menciona anteriormente.

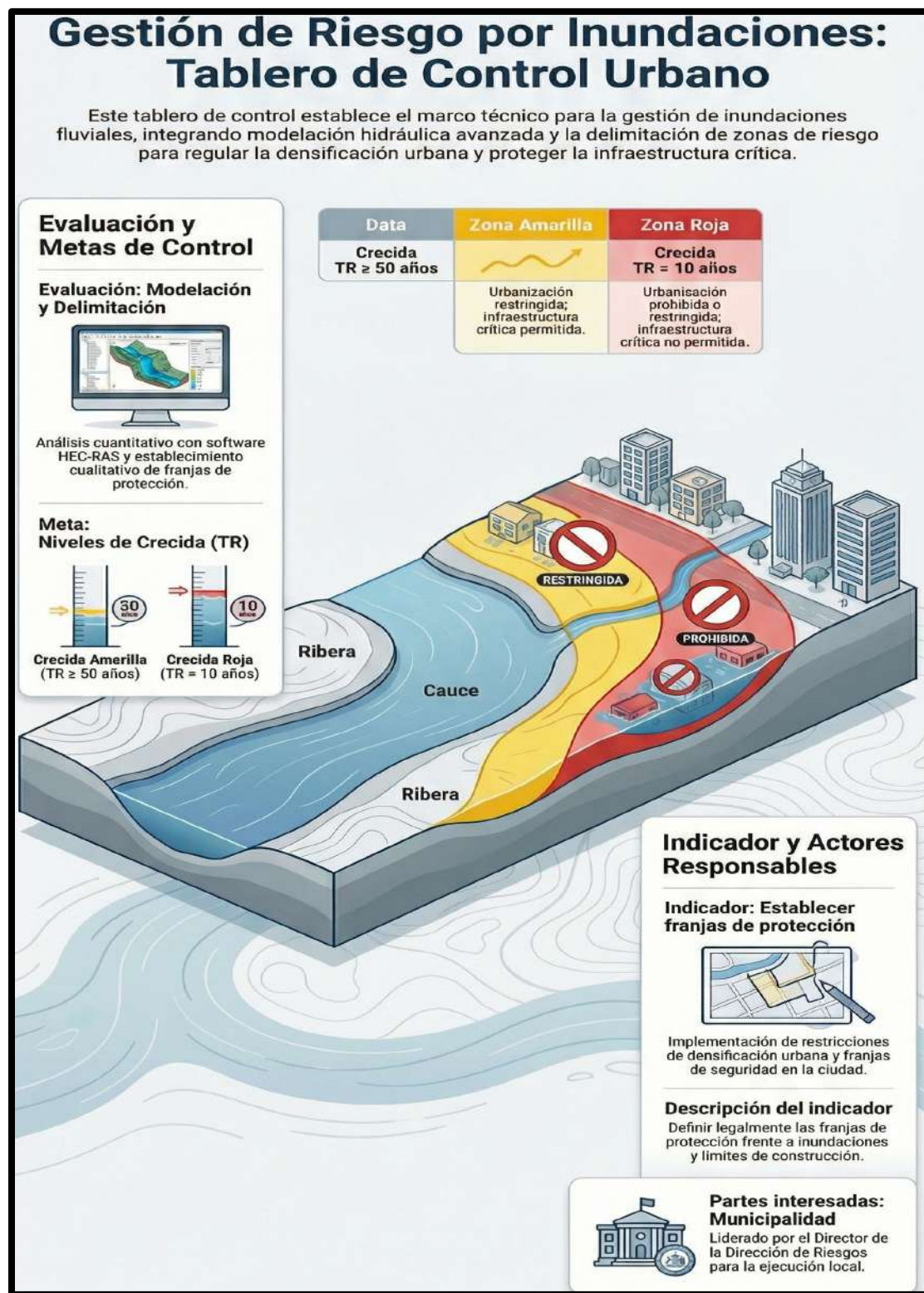


Tabla 9. Tablero de control del nivel de crecida de inundación de la ciudad. autoría Propia

4. 1.1.1. Aplicación de indicador para restricción de densificación urbana en la zona de la ciudad Francisco de Orellana, linderas al río Coca.

Para aplicar el indicador, es necesario llevar a cabo la modelación en el programa HEC-RAS utilizando los caudales correspondientes a periodos de retorno de 10 y 50 años. Esto se realiza con el objetivo de obtener información sobre los límites de crecida ordinaria y extraordinaria en la zona de la ciudad adyacente al río Coca para finalmente generar un mapa de zonificación.



Figura 16. Mapa Limite de crecida ordinaria y extraordinaria. Autoría propia

Este indicador no solo sirve como una herramienta visual fundamental para comprender y comunicar los riesgos vinculados a las crecidas fluviales en la región, sino que también orienta decisiones clave, como la restricción de la densificación urbana. Adicionalmente, respalda la puesta en marcha de un sistema de alerta temprana, esencial para la seguridad de los ciudadanos en esa zona, permitiendo respuestas oportunas y efectivas ante eventos hidrológicos extremos.

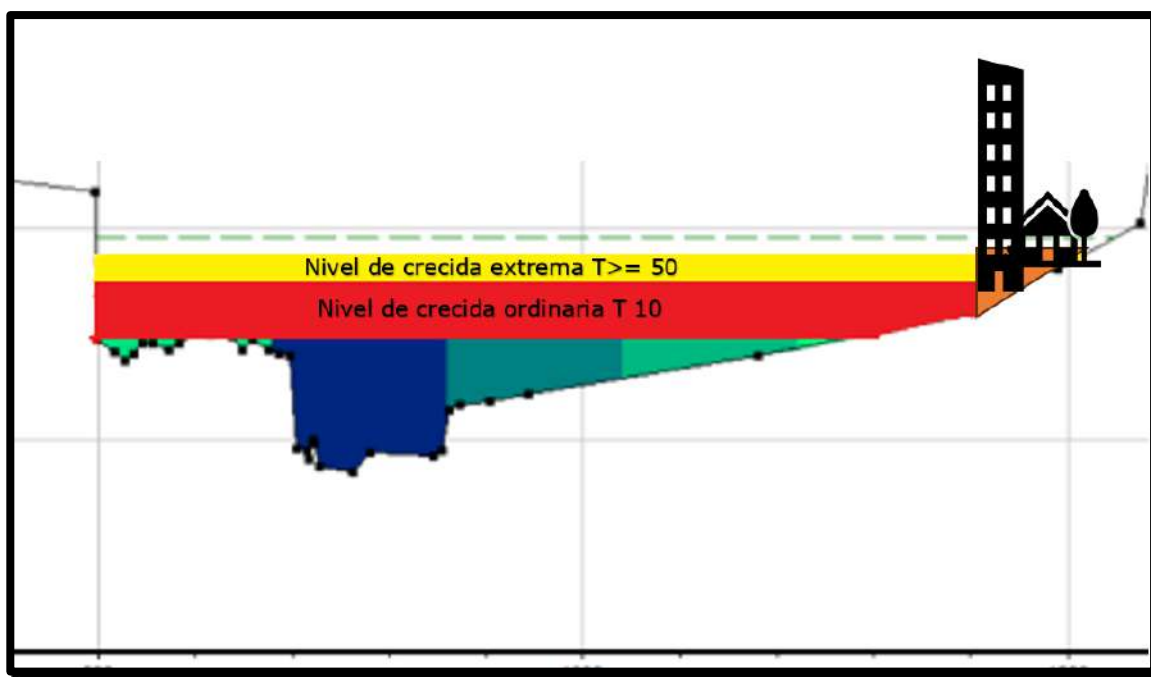


Figura 17. Croquis ilustrativo de franjas de protección frente a inundaciones fluviales (Ejemplo sección transversal 1030 Ciudad Francisco de Orellana).

La imagen anterior es una representación de las franjas de protección frente a nivel de crecida ordinaria y extrema de la sección transversal 1 030 ubicada en la zona linderas al río COCA, aquí se puede observar de manera esquemática los edificios y casas que están ubicadas en dicha zona.

..1. Sistema de alerta temprana.

“Los sistemas de alerta temprana son una herramienta que permite a una población estar preparada ante la ocurrencia de un desastre y contribuyen a minimizar significativamente el impacto de amenazas de origen natural o antrópico en la vida de las personas” (Dávila, 2016).

Los sistemas de alerta temprana (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) deben contar con una estación meteorológica (1) , una estación de monitorización EMA (2

), centro de control de alertas y notificaciones (3), infraestructura de comunicaciones (5) y la notificación a las personas (6).

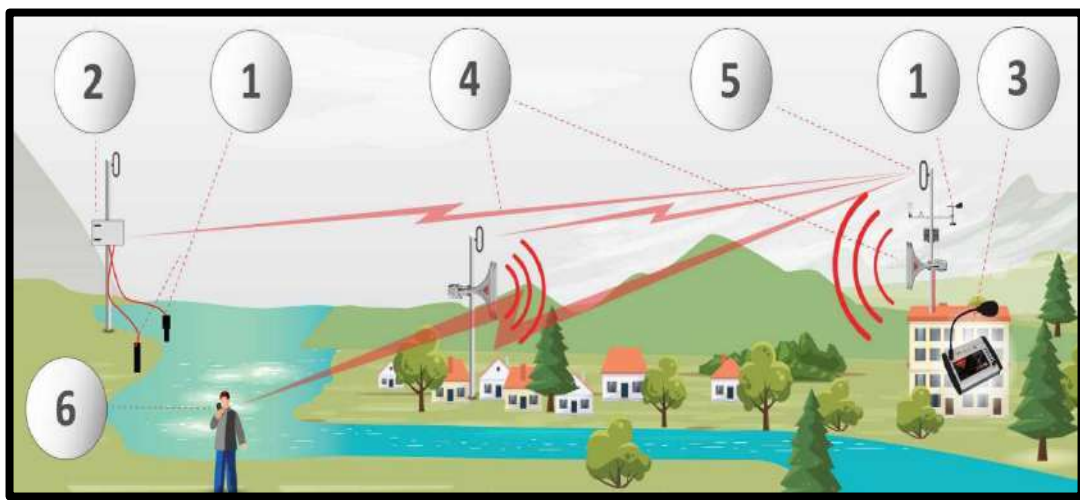


Figura 18. Descripción de un sistema de alerta temprana contra inundaciones. (Telegrafía, n.d.)

La estación meteorológica, la cual supervisa las condiciones climáticas, incluyendo las precipitaciones. Los sensores se encargan de medir y señalar posibles aumentos peligrosos en los niveles de cuerpos de agua. Estos sensores, conectados a la estación de monitorización llamada EMA, utilizan baterías para operar en lugares sin conexión eléctrica, con la capacidad de funcionar durante varios años. Como alternativa sostenible, se pueden emplear baterías recargables mediante colectores solares.

La estación de monitorización EMA recoge los datos obtenidos de los sensores, realiza cálculos y los transmite a un centro de control de alertas. Además, tiene la capacidad de enviar la información a teléfonos móviles y activar dispositivos como sirenas electrónicas, sistemas de megafonía o balizas luminosas según sea necesario.

El centro de control de alertas y notificaciones, equipado con un puesto de mando o aplicaciones de software, desempeña un papel crucial al recopilar, analizar y evaluar datos provenientes de los sensores y la estación de monitorización. Su respaldo total del grupo tecnológico asegura un alto nivel de seguridad. Además, el sistema permite configurar varios escenarios de situación según el desarrollo del riesgo, incluyendo la notificación a personas competentes ante indicios de una posible inundación, el envío de mensajes preventivos a la población mediante sirenas y la activación automática del sistema de alerta en caso de amenaza inminente.

Después de procesar los valores críticos registrados por los sensores, las sirenas electrónicas envían automáticamente señales de alerta. Una gran ventaja es la cobertura total del territorio poblado en riesgo y la rapidez con la que se transmiten los mensajes de alerta a los residentes. Estas sirenas, con buena inteligibilidad en la reproducción de mensajes de voz, son útiles para la gestión de evacuaciones preventivas y la coordinación de la población en situaciones extraordinarias, así como para ayudar en operaciones de rescate. El sistema permite activar las sirenas desde el centro de control de manera

individual o grupal, sin depender de una infraestructura comercial convencional. En caso de falta de alimentación externa, las sirenas pueden abastecerse de energía mediante colectores solares.

La infraestructura de comunicaciones garantiza una comunicación rápida entre el centro de mando y los demás elementos del sistema de monitorización, alerta y notificación. Esto se logra mediante tecnologías como radio digital o analógica, TCP/IP, GPRS o comunicación inalámbrica a corta distancia. Además, posibilita la conexión del sistema a sistemas de terceros, permitiendo una integración eficiente y colaborativa con otras plataformas o dispositivos externos.

La notificación a las personas competentes implica informarles sobre la aparición de una situación extraordinaria, ya sea mediante llamadas telefónicas o mensajes SMS. Estas personas son convocadas a sus puestos y se inician las operaciones de rescate en respuesta a la emergencia.

En los Sistemas de Alerta Temprana (SAT), la difusión efectiva de alertas es crucial y debe contar con el respaldo de los medios de comunicación, diversos sectores y las instituciones del sistema de protección de la zona. Se presentan ejemplos concretos, como el SAT de Río de Janeiro, que utiliza un sistema de sirenas en comunidades de alto riesgo y mensajes de texto a los teléfonos celulares. También se menciona el SAT Zurite, que emite alertas a las autoridades a través de mensajes de texto, activando planes de emergencia y autorizando la difusión masiva a través de diversos medios, como mensajes de texto, campanazos, sirenas y silbatos. Estos casos ilustran estrategias exitosas para la comunicación rápida durante situaciones de emergencia.(Dávila, 2016).

..2. Indicador de ejecución de alerta temprana frente a inundaciones.

Para ejecutar el indicador de la alerta temprana se basará en la metodología de la Cuenca Matanza Riachuelo mediante los parámetros de peligrosidad de inundación a partir de estas tres variables altura por velocidad, altura y velocidad. Con dichas variables las cuales se ajustan a la realidad del territorio se puede realizar el estudio de peligrosidad de una zona afectada por una inundación, para finalmente obtener los respectivos mapas de peligrosidad.

Después de analizar diversas metodologías y generar mapas preliminares de peligrosidad, se observó que la propuesta del Australian Institute for Disaster and Resilience (AIDR) establece límites de inestabilidad excesivos para las categorías de mayor amenaza (H5 y H6), especialmente para zonas urbanas. Mientras que otras metodologías clasifican la peligrosidad como “Alta” o “Muy Alta” para profundidades de agua mayores a 1,00 m, la metodología del AIDR establece límites de “h” mayores a 2,00 m (H5) y 4,00 m (H6) respectivamente. Adicionalmente, el gran número de niveles propuestos por el AIDR (de H1 a H6) se considera demasiado elevado, lo que complicaría su combinación con los niveles de vulnerabilidad para generar mapas de riesgo. Por estas razones, se descartaron los mapas de peligrosidad obtenidos mediante la aplicación de la metodología del AIDR.

Respecto a la metodología de la Oficina Federal de la Economía de Aguas (OFEE) de Suiza, que contempla solo tres niveles de peligrosidad (Bajo, Medio y Alto), se consideraron insuficientes y poco representativos al combinarlos con los niveles de vulnerabilidad, por lo que también fueron descartados.

Las metodologías propuestas por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y SUFRI (Strategies of Urban Flood Risk Management) se consideraron inicialmente adecuadas para la elaboración de mapas de riesgo, ya que son modernas, aplicables a inundaciones fluviales y consideran niveles de peligrosidad suficientes y compatibles con los de vulnerabilidad. Sin embargo, se observaron limitaciones en relación con los niveles de agua en la calle (h), que no reflejaban fielmente la realidad del territorio en estudio.

Al evaluar la metodología utilizada en la cuenca Matanza Riachuelo, se observó que los valores obtenidos fueron el resultado de diversos análisis. Al comparar estos parámetros con los valores obtenidos en la modelización de la cuenca del río Coca y verificar que los resultados de altura, velocidad y altura por velocidad son consistentes, se emplearán para la elaboración de los respectivos mapas de peligrosidad.

Para establecer los parámetros de este indicador, es fundamental realizar una modelación hidráulica mediante el programa HEC RAS. En dicha modelación a partir de cierto caudal en un tiempo de retorno determinado se obtiene como datos la altura de desborde y las velocidades en cada una de las secciones ubicadas linderas a la ciudad en un determinado tiempo de retorno; con los valores anteriormente obtenidos y los respectivos cálculos, se obtienen las tres variables del indicador, las cuales son altura, velocidad y altura por velocidad y con ello determinar el nivel de peligrosidad en la zona lindera a la ciudad, para finalmente obtener los respectivos mapas de peligrosidad.

Para ejecutar dicho indicador se debe elegir donde se va a realizar la medición de altura y el caudal del río, para llevar a cabo el proceso de medición del caudal en el río, es necesario establecer una relación entre la altura del agua (H) y el caudal (Q), mediante una ley H-Q específica para el río en cuestión. Con esta tabla, el personal encargado de realizar las mediciones puede determinar rápidamente el caudal que está fluyendo utilizando una regla colocada en el río. De esta manera, al conocer el caudal en cada momento, es posible enviar alertas de manera oportuna en caso de ser necesario.

Se recomienda por tema económico y mayor facilidad, elegir alguna estación meteorológica o hidrométrica o un punto cercano a la zona donde va a estar ubicada la medición de altura caudal en la parte alta de la cuenca, especialmente en la Subcuenca donde se determine un tiempo de concentración menor y el caudal elevado.

Al tener una base actualizada de altura caudal y como se tiene conocimiento a que caudal en base a la modelación, la zona de la ciudad lindera al río Coca se tiene riesgo de inundación y en base a los mapas de inundación se puede ejecutar una alerta temprana con respecto a este fenómeno. Adicionalmente, se puede colocar mediciones de altura caudal al ingreso de la ciudad para tener datos actualizados de los caudales y las alturas de la zona lindera a la ciudad.

A continuación, se presenta el tablero de control con su respectivo indicador, las metas y las partes interesadas:

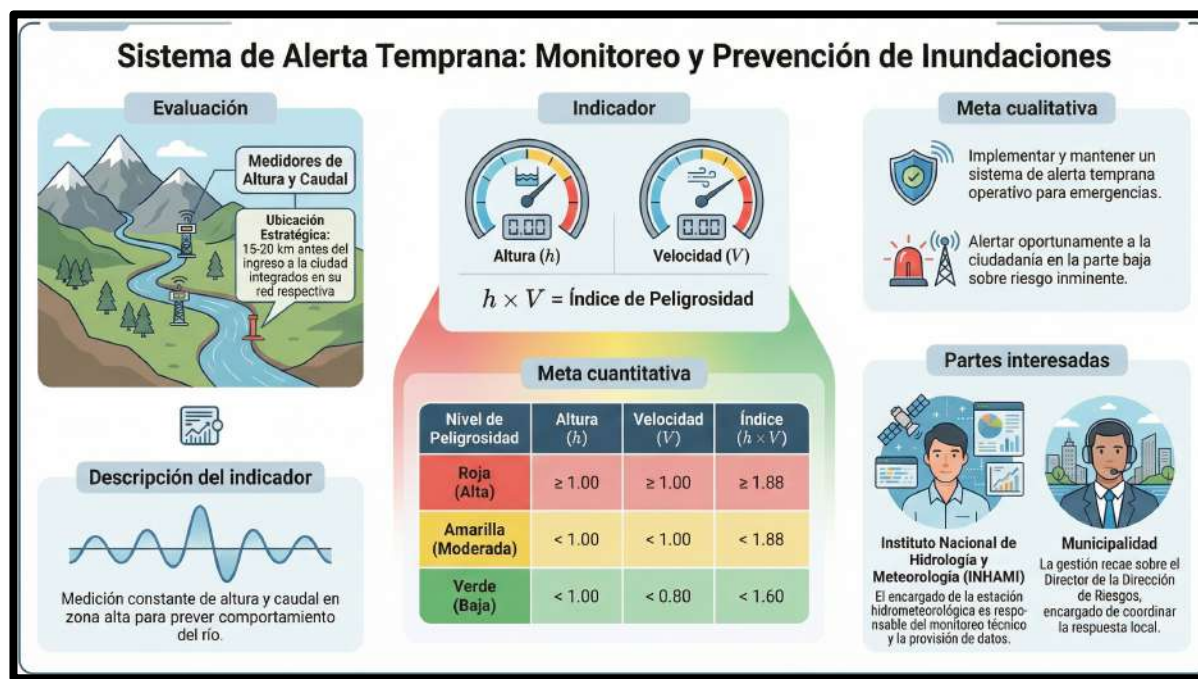


Tabla 10. Tablero de control del sistema de alerta temprana. Autoría propia.

4.1.1.1.1. Aplicación sistema de alerta temprana en la ciudad Francisco de Orellana.

En la cuenca del río Coca, se han producido desastres naturales y problemas ambientales que han amenazado tanto a la naturaleza como a las infraestructuras y a la población local. A pesar de contar con una planificación hídrica para el río Napo, es crucial desarrollar una herramienta de gestión integral de cuencas en las áreas bajas que enfrentan amenazas hidro sedimentológica. Esta herramienta tiene como objetivo principal la protección de la población que reside en las cercanías de la ciudad de Francisco de Orellana y la preparación para afrontar estas emergencias.

El primer indicador se relaciona con el control de inundaciones y para llevar a cabo este indicador, se debe seleccionar el punto de medición de altura y caudal. Para optimizar los recursos económicos y facilitar el proceso, se recomienda escoger la parte inferior de la subcuenca 3. Esta elección se fundamenta en dos factores clave:

1. **Tiempo de Concentración:** En esta área, el tiempo de concentración es de 4 horas, lo que significa que el agua de lluvia se acumula y fluye hacia esta ubicación en un período relativamente corto.

2. **Caudal más Elevado:** Además, en esta zona se registra el caudal más elevado, como se detalla en la TABLA 11.

SUBCUENCA	T _c (h)	Caudales (Tr)					
		2	5	10	25	50	100
1-2	13	654	703.5	766.7	876.5	958.1	1062.5
3	4	3203.2	3601.4	3910.1	4421.6	4885	5384.2
4	3	249.5	305.9	348.6	411.1	476.7	547.7
5	16	4544.7	5052	5472.3	6162	6777	7458

Tabla 11. Subcuenca tiempo de concentración vs caudales. Autoría propia.

En la Figura 23, en la ubicación marcada con el número uno, se llevará a cabo la medición de la altura y del caudal. Todos los datos recopilados serán enviados al punto número dos en, donde se encuentra ubicada la estación meteorológica río Salado. En esta estación, se realizará una comparación entre los datos registrados y los resultados de la modelación. Dado que ya se tiene información previa que establece los niveles de peligrosidad alto, moderado y bajo en la parte baja, zona donde está ubicada la ciudad, asociados a determinados caudales. Al realizar la medición en la parte alta de los caudales y la altura que generan ese nivel de peligrosidad en la zona de la ciudad linderas al río Coca se activará una señal desde la Estación río Salado hacia la Estación Coca-Aeropuerto, es decir, hacia el punto tres, con la finalidad de alertar a la ciudadanía.

Es crucial tener en cuenta que el tiempo de concentración desde el punto uno hacia la parte baja de la ciudad se encuentra en un rango de 19 a 20 horas, brindando un margen suficiente para revisar los datos y notificar a las autoridades pertinentes en caso de crecidas del río Coca. Esta capacidad de respuesta oportuna es esencial para que las autoridades puedan tomar las decisiones necesarias y gestionar adecuadamente las situaciones de riesgo relacionadas con las inundaciones.

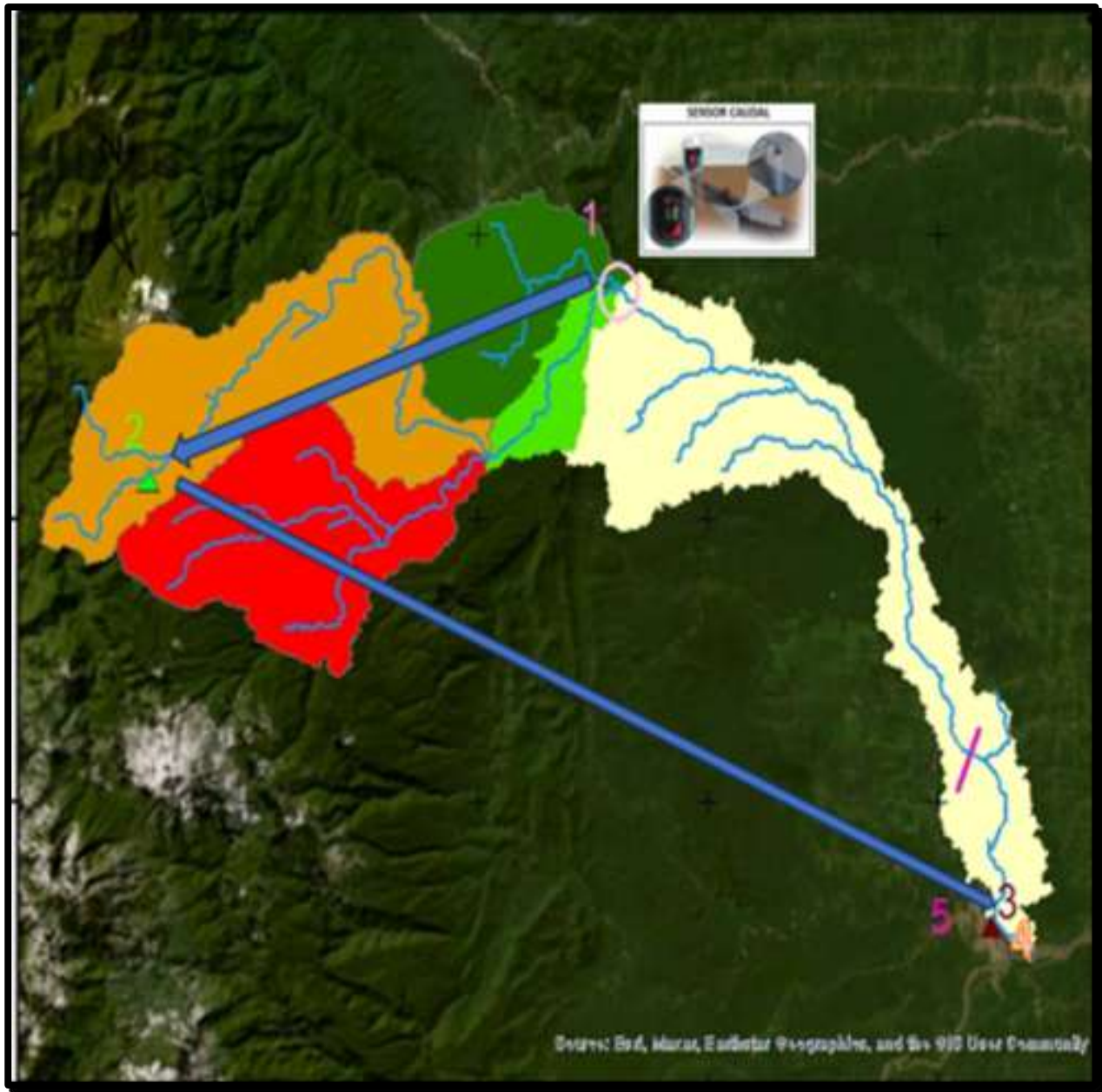


Figura 19. Sistema de alerta temprana de la cuenca baja del río Coca. Autoría propia

A continuación, se presenta los mapas de peligrosidad alta, media y baja de acuerdo con el tiempo de retorno de 5, 10, 50 y 100 años, en cada una de las secciones transversales, respectivamente.



Figura 20. Mapa de inundación de la ciudad Francisco de Orellana. TR 5 años

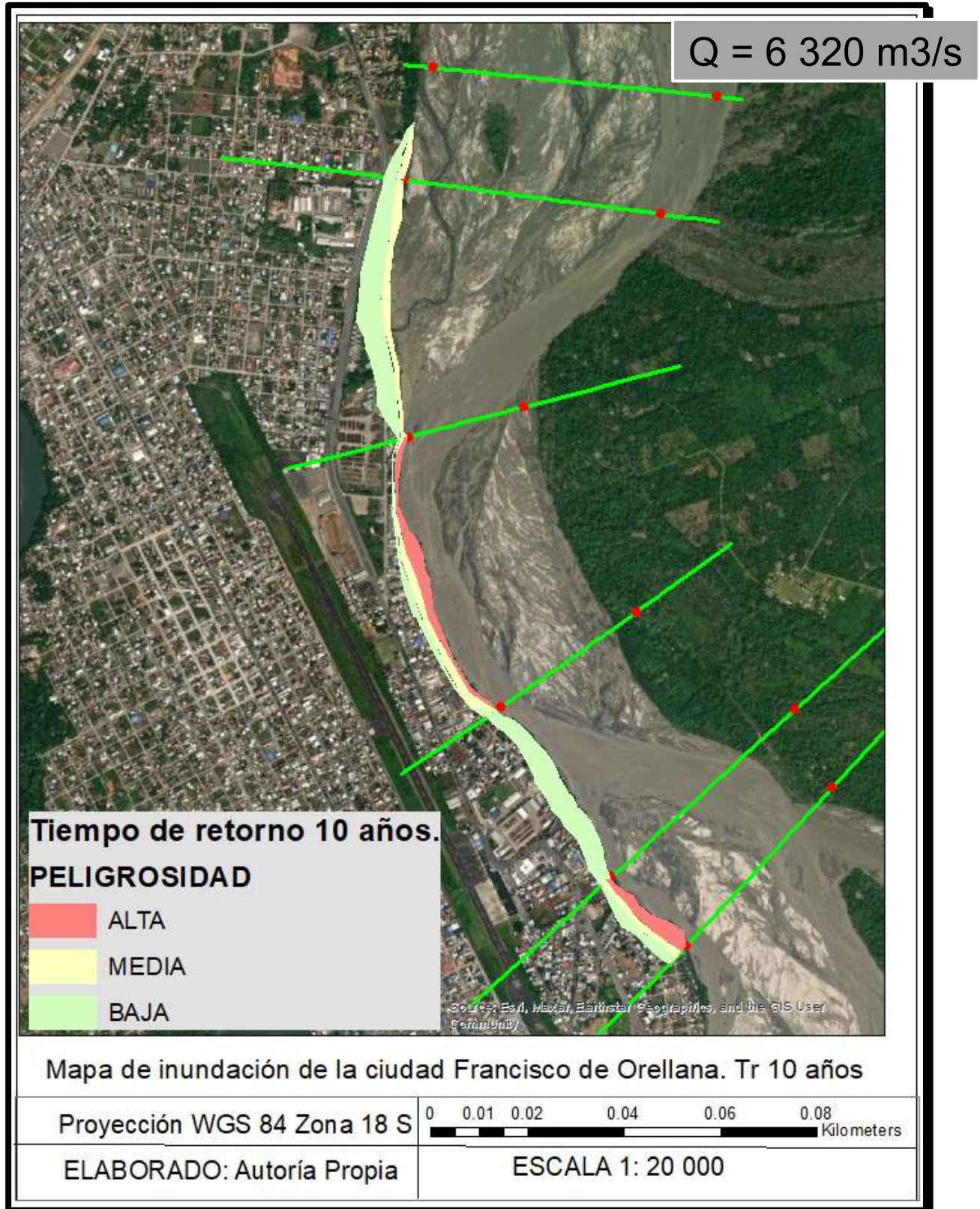


Figura 21. Mapa de inundación de la ciudad Francisco de Orellana. TR 10 años



Figura 22. Mapa de inundación de la ciudad Francisco de Orellana. TR 50 años

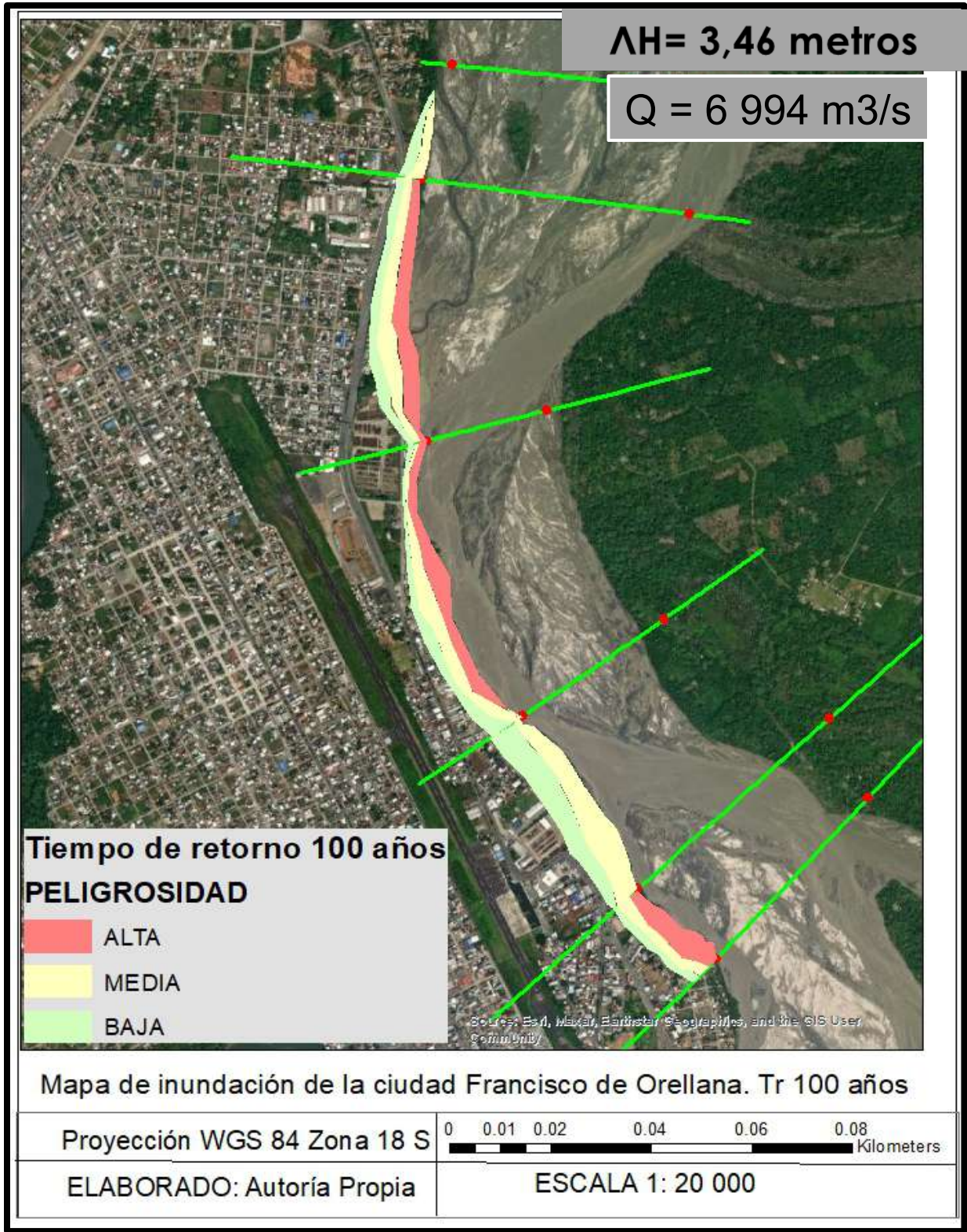


Figura 23 Mapa de inundación de la ciudad Francisco de Orellana. TR 100 años.

4.2. Monitoreo y evaluación de la capacidad y estabilidad del cauce.

..3. Capacidad y estabilidad del cauce.

En base al libro Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos, (Dourojeanni & Jouravlev, 1999) menciona un listado de indicadores potenciales para monitorear acciones de recuperación de cursos de agua, con dichos indicadores una de las metas es fomentar un sistema de información de la cuenca en términos científicos y tecnológicos necesarios para tomar decisiones y formular planes de gestión del agua en las cuencas, planes de ordenamiento territorial y sistemas necesarios de monitoreo del sistema hídrico.

Uno de los objetivos generales es la capacidad y estabilidad del cauce, para ello los indicadores de evaluación es la sección transversal del cauce en varios tramos, relación ancha—profundidad del cauce en diferentes tramos, velocidades de erosión de talud o lecho del curso de agua, perfil longitudinal del cauce e interpretación de fotografías aéreas en forma periódica. Para este indicador se ocuparán cuatro indicadores de los anteriormente mencionados los cuales son:

- Sección transversal del cauce en varios tramos.
- Relación ancho profundidad del cauce en diferentes tramos.
- Perfil longitudinal del cauce.
- Interpretación de fotografías aéreas en forma periódica.

4.2.1.1. Evaluar migraciones del curso y ubicar zonas de deposición y erosión.

El método se basa en realizar secciones transversales para así obtener datos sobre tasas de migración, zonas de deposición y erosión, siendo estos indicadores cruciales para la gestión de cuencas y la sostenibilidad de los recursos hídricos. Comprender la tasa de migración es esencial para abordar problemas como la erosión y sedimentación, evitando la pérdida de suelo fértil y la obstrucción de canales. La anticipación de desplazamientos fluviales beneficia la planificación del uso del suelo, evitando el desarrollo en áreas propensas a la migración.

En el tema de gestión de inundaciones mejora al comprender cómo la migración afecta su propagación, facilitando la implementación de estrategias efectivas y finalmente conocer las áreas de deposición y erosión proporciona información valiosa para abordar problemas como la pérdida de suelo, la protección de hábitats naturales, la gestión de sedimentos y la planificación de infraestructuras, contribuyendo a la sostenibilidad y salud a largo plazo de los ecosistemas fluviales y es esencial para la gestión de la cuenca vinculada a la ciudad ubicada en la zona baja.

El método para la sección transversal del cauce en varios tramos implica realizar secciones repetidas para cuantificar la ampliación del canal, migración y el volumen de sedimento

depositado o erosionado. Se pueden comparar las secciones transversales en diferentes ubicaciones o momentos para evaluar características físicas o monitorear cambios; se proponen tres niveles de métodos, desde observaciones y fotografías hasta encuestas repetidas en distintos sitios. La selección de sitios depende del propósito del estudio, ya sea monitoreo dirigido o documentar diferencias entre arroyos.

La resolución temporal y la escala del equipo utilizado dependen del ancho del canal. Se recomiendan mediciones de las secciones transversales anuales o semi-anuales para arroyos aluviales. La ubicación de los sitios de estudio puede ser en áreas estables o con cambios evidentes, y se pueden comparar utilizando el enfoque ergódico. Las limitaciones de escala requieren equipos adecuados para canales más anchos, con canales más grandes midiendo desde botes con dispositivos. La resolución temporal depende de la hidrología y el tipo de sustrato, con mediciones frecuentes para arroyos muy cambiantes y menos frecuentes para arroyos estables. (Lord et al., 2009)

Por ejemplo, como caso de estudio de la implementación de esta metodología es en el caso de estudio: un enfoque basado en la ciencia para comprender, gestionar y restaurar las praderas ribereñas montañosas de la Gran Cuenca, Nevada, Estados Unidos (Groten et al., 2023) Para realizar el respectivo monitoreo se utilizaron técnicas simples de cartografía de campo como el uso de estación total, teodolitos, entre otros para muchos arroyos en cuencas. Estos métodos incluyeron la determinación de secciones transversales del arroyo, perfiles longitudinales, materiales del lecho y grado de incisión. Además, se determinaron las características geológicas y morfométricas de la cuenca de drenaje de cada sitio de estudio.

Se obtuvo como resultados según los datos de campo que los sistemas de arroyos se categorizaron en diferentes grupos de sensibilidad; es decir, algunas cuencas son mucho más propensas a sufrir incisiones si se ven afectadas por causas naturales o antropogénicas. La variación en la naturaleza de la respuesta del sistema parece estar controlada por la geología, la morfometría de la cuenca de drenaje y la hidrología de la cuenca (Germanoski y Miller, 2004). Esta información es valiosa para priorizar actividades de gestión y restauración. Las fotografías aéreas secuenciales muestran una migración rápida aguas arriba de los sistemas de canales en un complejo de praderas húmedas.

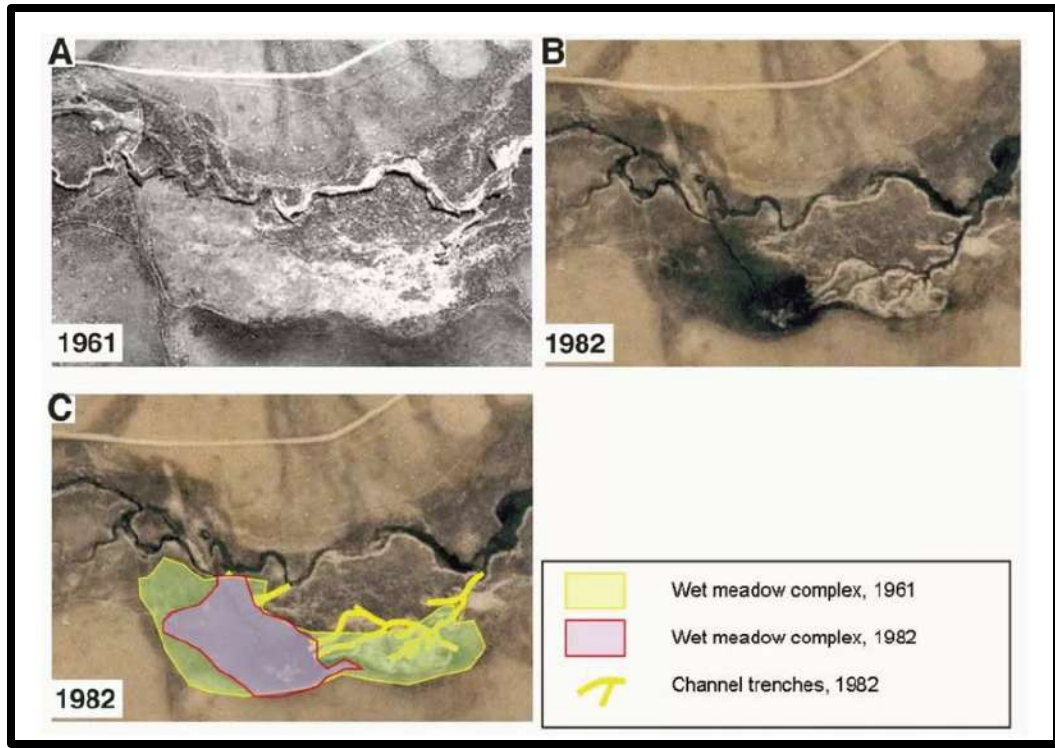


Figura 24. Fotografías aéreas secuenciales (Indian Creek Valley, Nevada) utilizadas para determinar las tasas de cambio en el área de los complejos de praderas húmedas ribereñas y la extensión del canal; ancho de la foto ~0,8km. (Lord et al., 2009)

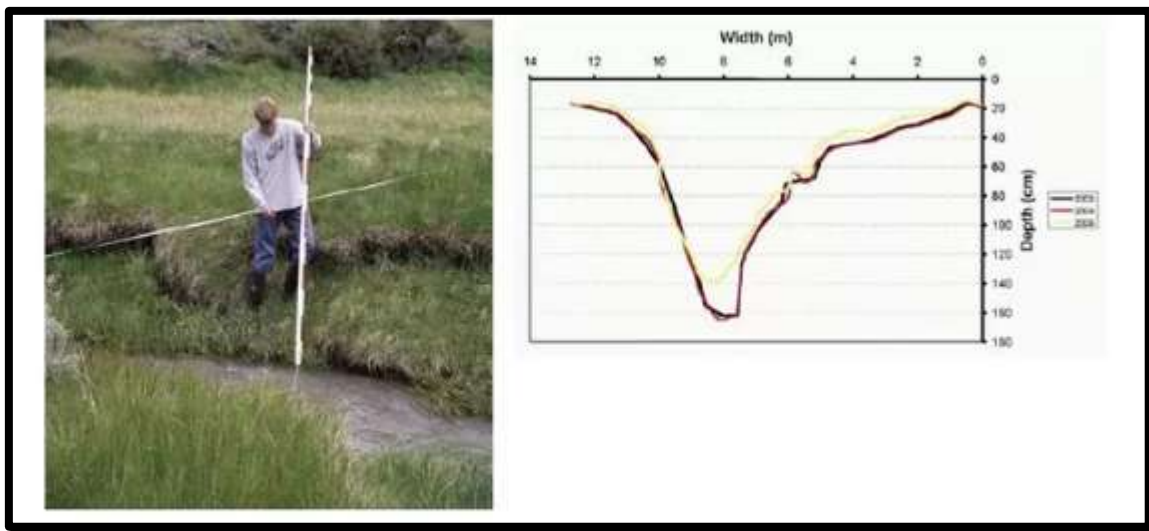


Figura 25. Ejemplo de determinación de sección transversal de un canal. (Lord et al., 2009)

La determinación de la sección transversal de un canal (izquierda) puede realizarse con herramientas muy sencillas y resulta eficaz para caracterizar y supervisar los arroyos. Secciones transversales secuenciales (derecha) de un cauce de pradera muestran el relleno de sedimentos entre 2004 y 2005. Fotografía de Mark Lord.

A continuación, se presenta el tablero de control con su respectivo indicador, las metas y las partes interesadas:



Tabla 12. Tablero de control de la sección transversal del cauce. Fuente: Autoría propia.

..4. Estabilidad del cauce (Relación ancho - profundidad / Perfil longitudinal.)

El monitoreo constante de la estabilidad del cauce de un río es crucial para la gestión efectiva de los recursos hídricos y la protección de comunidades y ecosistemas. Este procedimiento ofrece información crucial para identificar el tipo de material transportado en el río, detectar posibles acumulaciones de sedimentos y prevenir la erosión. De esta manera, se asegura la calidad del agua y la salud del suelo. Además, contribuye significativamente a la gestión de inundaciones al anticipar cambios que podrían aumentar el riesgo de eventos extremos.

La estabilidad del cauce también es fundamental para la protección de infraestructuras críticas, la conservación de hábitats fluviales y la sostenibilidad del suministro de agua. Por lo tanto, el realizar este tipo de monitoreo se puede lograr una gestión integral y sostenible de los sistemas fluviales, y la protección de las riberas del río, especialmente en la zona donde está ubicada la comunidad.

Para determinar el indicador de la relación entre el ancho y la profundidad, así como el perfil longitudinal, se empleará la clasificación de cauces aluviales de SCHUMM, que define tres categorías de canales: estables, erosionados y depositantes. Luego, establece tres subcategorías según el modo predominante de transporte de sedimentos: carga de fondo, carga mixta y carga de suspensión.

A continuación, se presenta la tabla de clasificación:

CLASIFICACIÓN DE CAUCES ALUVIALES DE SCHUMM					
Modo de transporte de sedimentos	M%	C%	Estabilidad del cauce		
			Estable	En sedimentación (exceso de carga)	En erosión (deficiencia de carga)
Suspendida , carga del 85% al 100%	100	< 3	- Relación ancho/profundidad < 7	La mayor sedimentación en las márgenes causa estrechamiento del cauce; la sedimentación en el fondo es menor al comienzo del proceso.	Predomina la erosión en el fondo del lecho; el ensanche del cauce es menor al comienzo del proceso.
			- Sinuosidad > 2.1		
			- Pendiente del canal: moderada		
Carga Mixta , carga suspendida del 65% al 85%;carga de fondo del 15% al 35%;	30	3-11	- Relación ancho/profundidad > 7, < 25	Al comienzo mayor sedimentación en las márgenes, y avanzado el proceso en el lecho.	Comienza por erosión del fondo, seguida por una ampliación del cauce.
			- Sinuosidad < 2.1, > 1.5		
			- Pendiente del canal: moderada		
Carga de fondo , del 35% al 70%	0	> 11	- Relación ancho/profundidad > 25	Sedimentación en el lecho y formación de islas.	Poca erosión del fondo; predominante ensanchamiento del canal
			- Sinuosidad < 1.5, > 1.0		
M = Porcentaje de Limo-Arcilla en el perímetro del cauce (%).					
C = Relación entre la carga de fondo y la carga total (%).					

Tabla 13. Clasificación de cauces aluviales según SCHUMM, con relación a la carga de sedimentos y modo de transporte. Fuente: (MARÍN URIBE, 2002)

Para aplicar la clasificación previa, es imperativo realizar un estudio previo sobre la cantidad de materiales en la cuenca. En este sentido, la medición de sedimentos en sistemas

fluviales resulta esencial para comprender y gestionar de manera efectiva los recursos hídricos, por lo tanto, se tiene que realizar muestreos de sedimentos suspendidos y de arrastre de fondo.

Aunque el muestreo de sedimentos suspendidos ha sido la herramienta principal para comprender estos sedimentos en entornos fluviales, los métodos comúnmente utilizados, como el muestreo por agarre y los métodos de laboratorio de sólidos suspendidos totales (TSS), no son ampliamente adoptados debido a su costo, el tiempo requerido.

En respuesta a este desafío, se ha ideado un nuevo método de muestreo de sedimentos suspendidos denominado “depth-integrated grab” (DIG). Este método combina elementos de los métodos de muestreo por agarre y de integración de profundidad, así como los métodos de laboratorio de concentración de sedimentos suspendidos (SSC). El objetivo del método DIG es ofrecer resultados más precisos que el método Grab-TSS, al mismo tiempo que es más sencillo y económico de implementar en comparación con los muestreadores y métodos especializados.

Un ejemplo concreto de la aplicación de este método se llevó a cabo mediante aproximadamente 50 muestras emparejadas de comparación en 9 sitios en Minnesota entre 2018 y 2019. Los resultados indicaron que no hubo una diferencia significativa entre el método DIG y los métodos de muestreo especializados, pero sí se observó una diferencia significativa entre ambos métodos y el método Grab-TSS. El método DIG-SSC presentó una alternativa mejorada al método Grab-TSS, aunque se destaca la necesidad de investigaciones adicionales y pruebas para evaluar su idoneidad en condiciones diferentes a las observadas en este estudio. (Groten et al., 2023)

En conclusión, el innovador método de muestreo “depth-integrated grab” (DIG) ofrece una alternativa eficiente y económica al método tradicional Grab-TSS, demostrando su comparabilidad con métodos especializados. Aunque requiere más investigación para evaluar su aplicabilidad en diversas condiciones, el DIG-SSC muestra un potencial prometedor para mejorar la precisión de las mediciones de sedimentos suspendidos en entornos fluviales.



Figura 26. Configuración sugerida para muestreo de sedimentos suspendidos “depth-integrated grab” (DIG) en condiciones de altas (a, b) y bajas (d) velocidades del flujo del río: (a) Muestreador de sedimentos suspendidos “depth-integrated grab” (DIG) (US WBH-96 con un agujero en la tapa de la botella) conectado a un peso sonoro; (b) Una tabla de puente, carrito sónico A-55, US WBH-96 con un agujero en la tapa de la botella conectado a un peso sonoro, y una persona muestreando desde un puente; (c) Una tabla de puente, carrito b, y una persona muestreando desde un puente; (d) Muestreador de sedimentos suspendidos “depth-integrated grab” (DIG) (US WBH-96 con un agujero en la tapa de la botella) conectado a una cuerda

La medición comúnmente utilizada para el sedimento de arrastre de fondo es la concentración de sedimentos en suspensión (CSS), que se expresa generalmente en unidades de masa por volumen de agua, como por ejemplo miligramos por litro (mg/L) o partes por millón (ppm). Esta medición indica la cantidad de partículas sólidas que están suspendidas en el agua y que son transportadas por la corriente. La CSS se puede medir de manera continua con sensores de turbidez o mediante muestras tomadas en diferentes profundidades y ubicaciones a lo largo de un río, arroyo o canal.

Para las mediciones las metodologías a ocupar pueden ser Dispositivo óptico: Optical Backscatter Sensor OBS-3^a y Dispositivo acústico: correntómetro AWAC-ADCP. El dispositivo OBS-3^a radica en su capacidad para medir la turbidez y la concentración de sedimentos en suspensión (CSS) mediante la emisión de radiación infrarroja cercana y la detección de la porción de esta radiación retrodispersada por las partículas en el agua.

El sensor OBS está compuesto por un diodo emisor de luz infrarroja, un arreglo de fotodiodos y un filtro para eliminar la luz solar, lo que permite una medición precisa de la retrodispersión óptica. La influencia de factores como el tamaño de las partículas, la concentración de sedimentos, el color de los mismos y la presencia de burbujas se tiene en cuenta para calibrar el dispositivo. Utilizando ecuaciones de calibración, se logra estimar la concentración de sedimentos con alta precisión y correlación significativa, lo que lo convierte en una herramienta invaluable para la monitorización ambiental y la investigación hidrológica.

El dispositivo acústico: correntómetro AWAC-ADCP emite pulsos de sonido a través del agua con una frecuencia fija y registra la frecuencia de retorno de estos pulsos, utilizando el efecto Doppler para determinar la velocidad de las partículas en suspensión, que se considera igual a la velocidad del fluido. Además, el ADCP registra la amplitud de la señal recibida, la cual se ha relacionado con la concentración de sedimentos en suspensión (CSS). Sin embargo, la transformación de los valores de amplitud a CSS requiere correcciones debido a la pérdida de intensidad de la señal a medida que se propaga a través del agua, considerando factores como la forma cónica del haz acústico, la absorción del sonido por el agua y la dispersión y absorción de la energía acústica por las partículas suspendidas. Estas correcciones se aplican a través de una serie de ecuaciones que tienen en cuenta la profundidad, la temperatura, la salinidad y la presión del agua.

Para mejorar las relaciones cuantitativas entre las mediciones del OBS-3^a y el ADCP radica en la necesidad de un diseño de muestreo experimental más completo. Este diseño debe abordar la variabilidad en el diámetro de las partículas y aumentar el número de mediciones de la concentración de suspensión (CSS). Al variabilidad del tamaño de aumentar la cantidad de pretende encontrar una permita relacionar de lecturas del OBS-3^a con las enfoque mejorado comprensión más precisa



sedimentos en incorporar la las partículas y mediciones de CSS, se ecuación de ajuste que manera más precisa las del ADCP. Este garantizará una de las condiciones del

agua en el área de estudio, lo que es esencial para una gestión efectiva de los recursos hídricos y la monitorización ambiental. (Restrepo & Pierini, 2012)

Figura 27. Optical Backscatter sensor abs-3ª. Fuente: (Eidam et al., 2021)

A continuación, se presenta el tablero de control con su respectivo indicador, las metas y las partes interesadas:

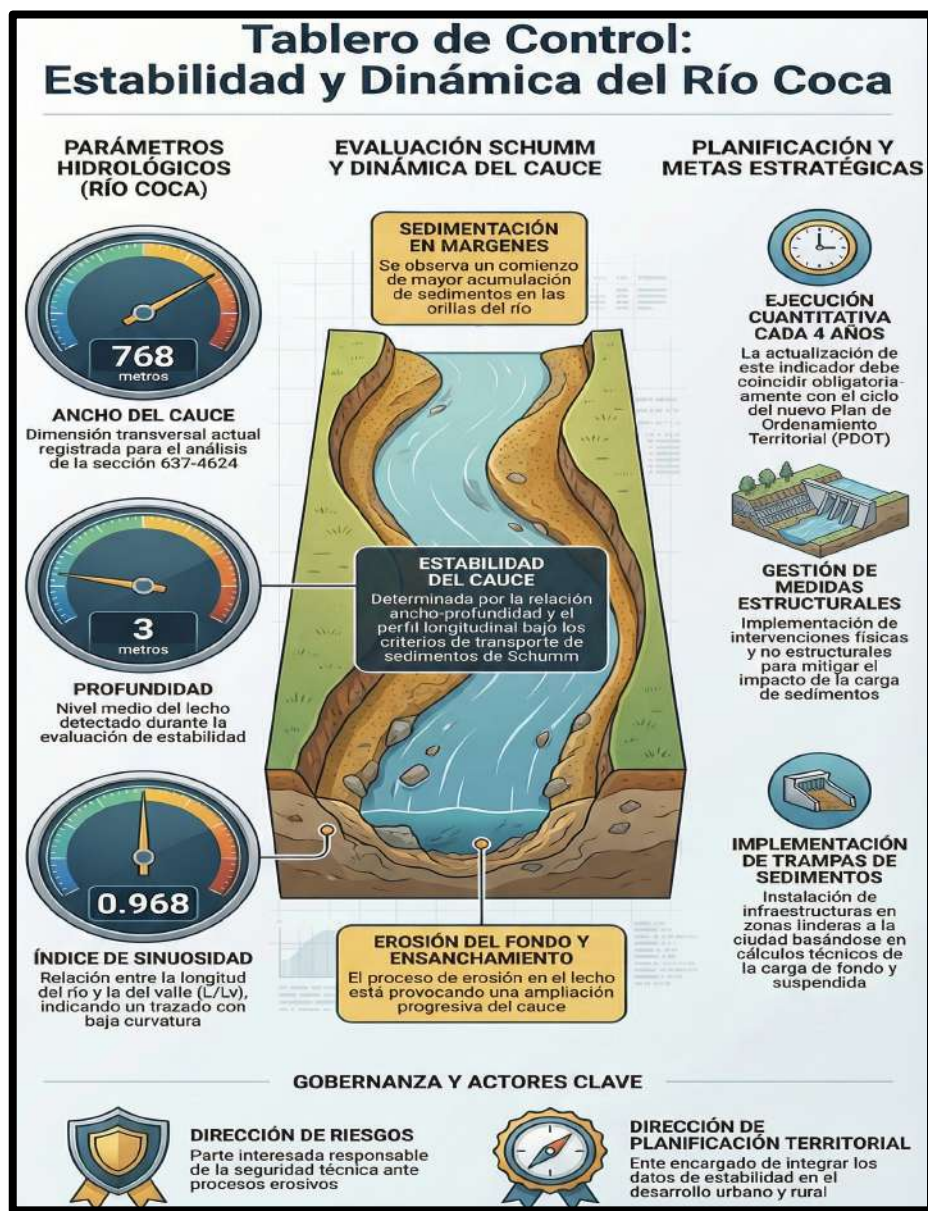


Tabla 14. Tablero de control de la estabilidad del cauce. Autoría propia

..5. Interpretación de fotografías aéreas en forma periódica.

La interpretación periódica de fotografías aéreas es de vital importancia para el monitoreo efectivo de ríos, ya que proporciona una visión detallada de los cambios en el curso del agua, la erosión, la sedimentación y los hábitats fluviales a lo largo del tiempo. Estas imágenes son esenciales para evaluar áreas propensas a inundaciones y para monitorear la extensión de inundaciones durante eventos climáticos extremos y planificar el uso del suelo.

En Argentina por ejemplo la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) y el Instituto Nacional del Agua (INA) llevan adelante diferentes proyectos que utilizan el radar en banda L de la Constelación SAOCOM, entre otros sensores remotos, para aportar datos para el manejo de inundaciones, el riego en zonas áridas y la potabilización del agua, entre otros aspectos. “El potencial de la observación de la tierra mediante satélites a la gestión del recurso hídrico y a la hidrología operativa es enorme, por lo que la identificación de nuevas oportunidades, así como la profundización de las existentes es una necesidad permanente que involucra a ambas instituciones”, afirmó. **En esta nota, Uriburu Quirno se refiere a algunos de los principales proyectos que están en marcha y otros que se comenzarán a desarrollar próximamente.** (Comisión Nacional de Actividades Espaciales, 2022)

Para establecer el indicador se debe realizar la evaluación de las fotografías aéreas en forma periódica, utilizando los gráficos de SCHUMM y de ROSGEN.

A continuación, se presenta el tablero de control con su respectivo indicador, las metas y las partes interesadas.

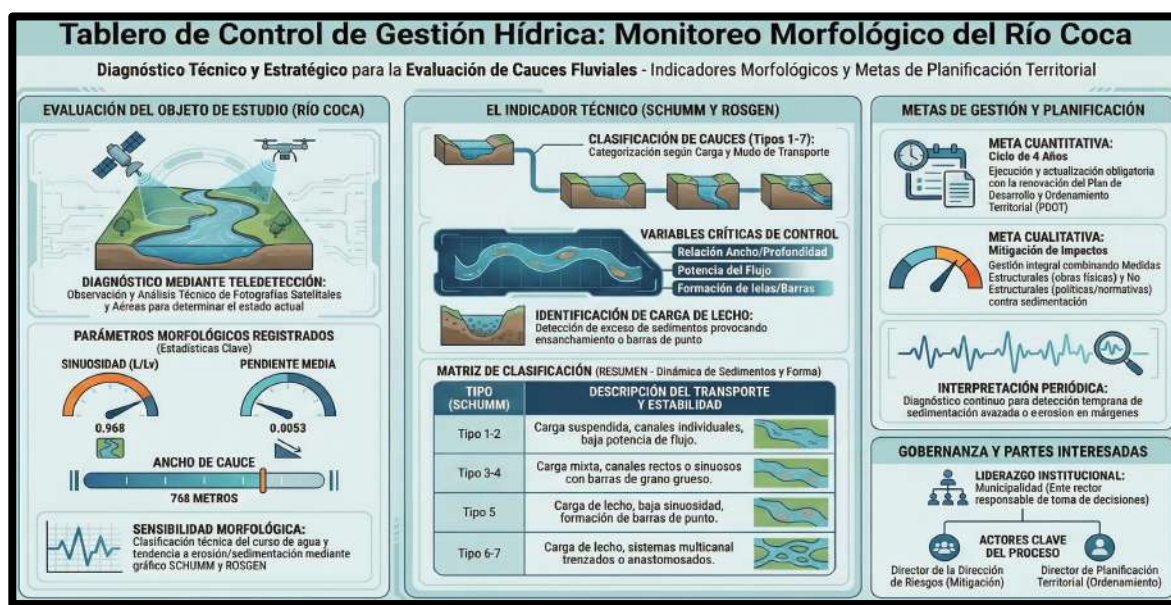


Tabla 15. Tablero de control de interpretación de fotografías aéreas en forma periódica.
Autoría propia.

4.1.1.2 Aplicación de los indicadores para el monitoreo y evaluación de la capacidad y estabilidad del cauce del río Coca zona de la ciudad Francisco de Orellana, linderas al río.

Para aplicar el primer indicador, se debe seleccionar el lugar para realizar las secciones. Dado que ya se han efectuado seis secciones previas en la zona urbana linderas al río Coca, se sugiere repetir el proceso en ese mismo lugar para evaluar la tasa de migración y las áreas de deposición y sedimentación. Se aconseja llevar a cabo este tipo de evaluaciones cada dos años para mantener un control efectivo y asegurarse de que se cumplan las disposiciones del Plan de Ordenamiento Territorial (PDOT). En caso de detectar nuevas alertas, se implementarán las medidas necesarias para su gestión y ejecución, lo que implica una actualización regular del indicador.

El segundo indicador aborda la estabilidad del cauce, y para llevar a cabo el muestreo de sedimentos suspendidos D-I-G, es crucial seleccionar los lugares adecuados. Dado que la atención se centra en evaluar la zona donde se encuentra la ciudad, se recomienda realizar el muestreo tanto en la entrada como en la salida de la ciudad, con ello se puede establecer la cantidad de carga suspendida y de fondo.

Este indicador se lo debe ejecutar cuando se realice el nuevo Plan de ordenamiento territorial (PDOT), es decir, cada 4 años y para utilizar el indicador de manera autónoma, se debe completar la siguiente hoja de cálculo en Excel, la cual automáticamente identificará el tipo de carga y la estabilidad del cauce.

CLASIFICACION DE CAUCES ALUVIALES DE SCHUMM					
Nombre del cauce		Rio Coca		Seccion	637 - 4624
DESCRIPCION DEL CAUCE					
CARACTERIZACIÓN	Ancho (m)		768	Profundidad (m)	3
	Longitud del río (L)				5615
	Longitud del valle medida en línea curva y recta (Lv)				5800
	Cotas del canal	Altitud máxima (Hmax)		msnm	280
		Altitud mínima (Hmin)		msnm	250
	Altura media del canal			msnm	15
	Relación ancho/profundidad				256
	Sinuosidad			L/Lv	0.968103448
Pendiente media del canal			Sm	0.005342832	
MODO DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS					
Carga Suspendida			Evaluación		
Carga Fondo					
Porcentaje de Limo - Arcilla %					
Relación carga de fondo y carga total %					
Exceso de carga	Mayor sedimentacion en las margenes causa estrechamiento del cauce			Si	
	Sedimentacion en el fondo es menor al comienzo del proceso.			Si	
	Comienzo mayor sedimentacion en las margenes y avanzado proceso en el lecho				No
	Sedimentacion en el lecho y formacion de islas				No
En Erosion	Predomina erosion en el fondo del lecho; ensanche del cauce es menor al comienzo del proceso				No
	Comienzo por erosion del fondo, seguida por una ampliacion del cauce				No
	Poca erosion del fondo; predominante ensanchamiento del canal				No
ESTABILIDAD DEL CAUCE					

Tabla 16. Clasificación del río Coca (SCHUMM). Autoría Propia.

Es importante destacar que en la actualidad no se puede utilizar este indicador, ya que no se dispone de datos sobre el transporte de sedimentos.

En cuanto al último indicador, que implica la interpretación de fotografías aéreas, se requiere evaluar la zona contigua al río Coca, donde está ubicada la ciudad. Para aplicar dicho indicador, se realizará una breve síntesis de los cambios morfológicos del río a lo largo de los últimos años en la ciudad. Este análisis permitirá, finalmente, determinar el tipo de carga que lleva el río con base en las gráficas de SCHUMM y ROSGEN.

Este indicador se lo debe ejecutar cuando se realice el nuevo Plan de ordenamiento territorial (PDOT), es decir, cada 4 años. A continuación, se presenta la evaluación e interpretación de las fotografías satelitales desde 1985 hasta la actualidad.

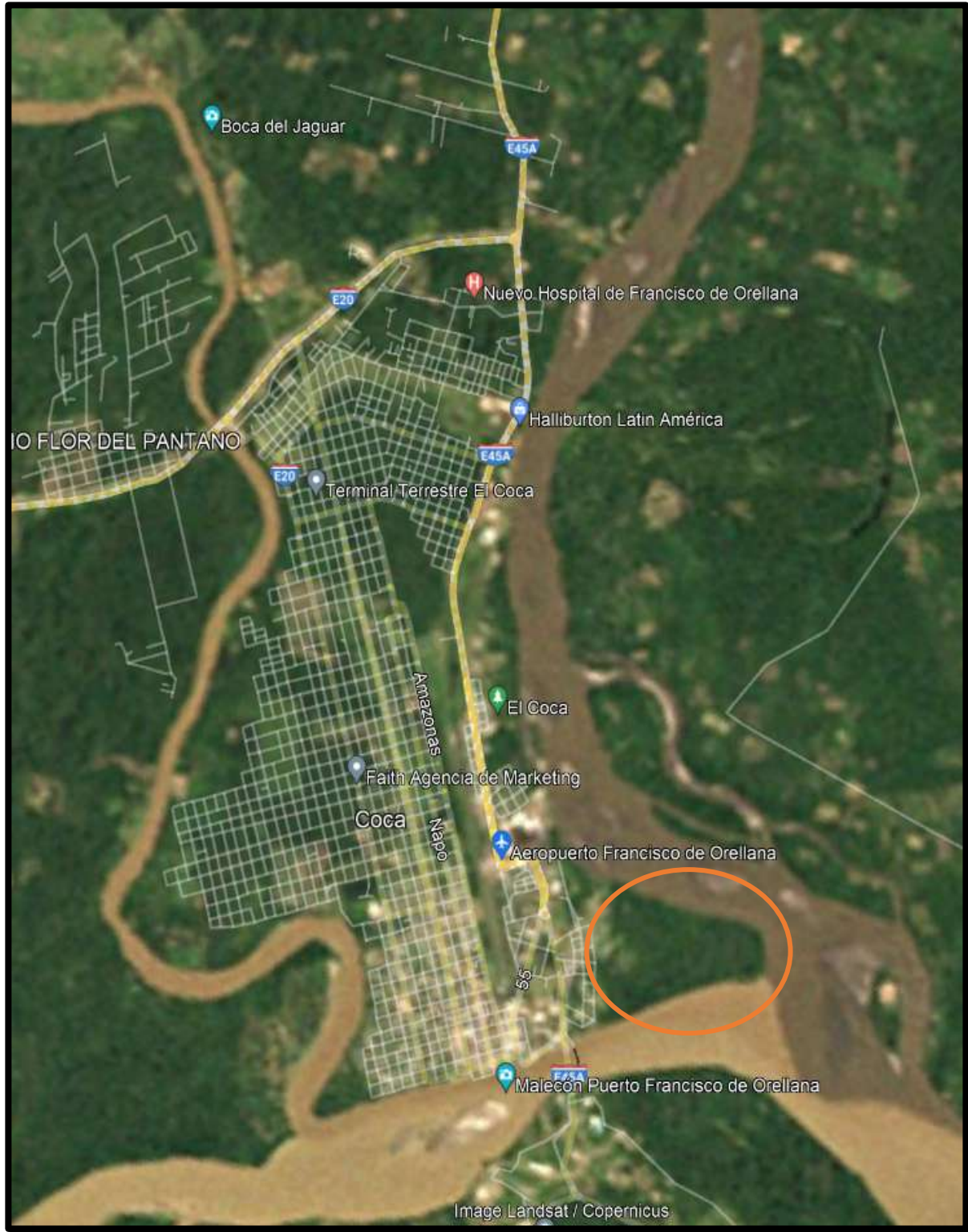


Figura 28. Fotografía satelital año 1985.

La imagen data del año 1985 y no muestra signos de erosión fluvial. Como se puede apreciar en la imagen, en la zona baja de la cuenca (circulo anaranjado) se observa la presencia de terreno, es fundamental reconocer debido a que en los siguientes años llego a desaparecer



Figura 29. Fotografía satelital año 2003.

La imagen data del año 2003, se observa que la parte baja ya no existe tierra (circulo verde) y se nota presencia de islotes. Adicionalmente, en donde este marcado de azul se nota inicios de erosión.

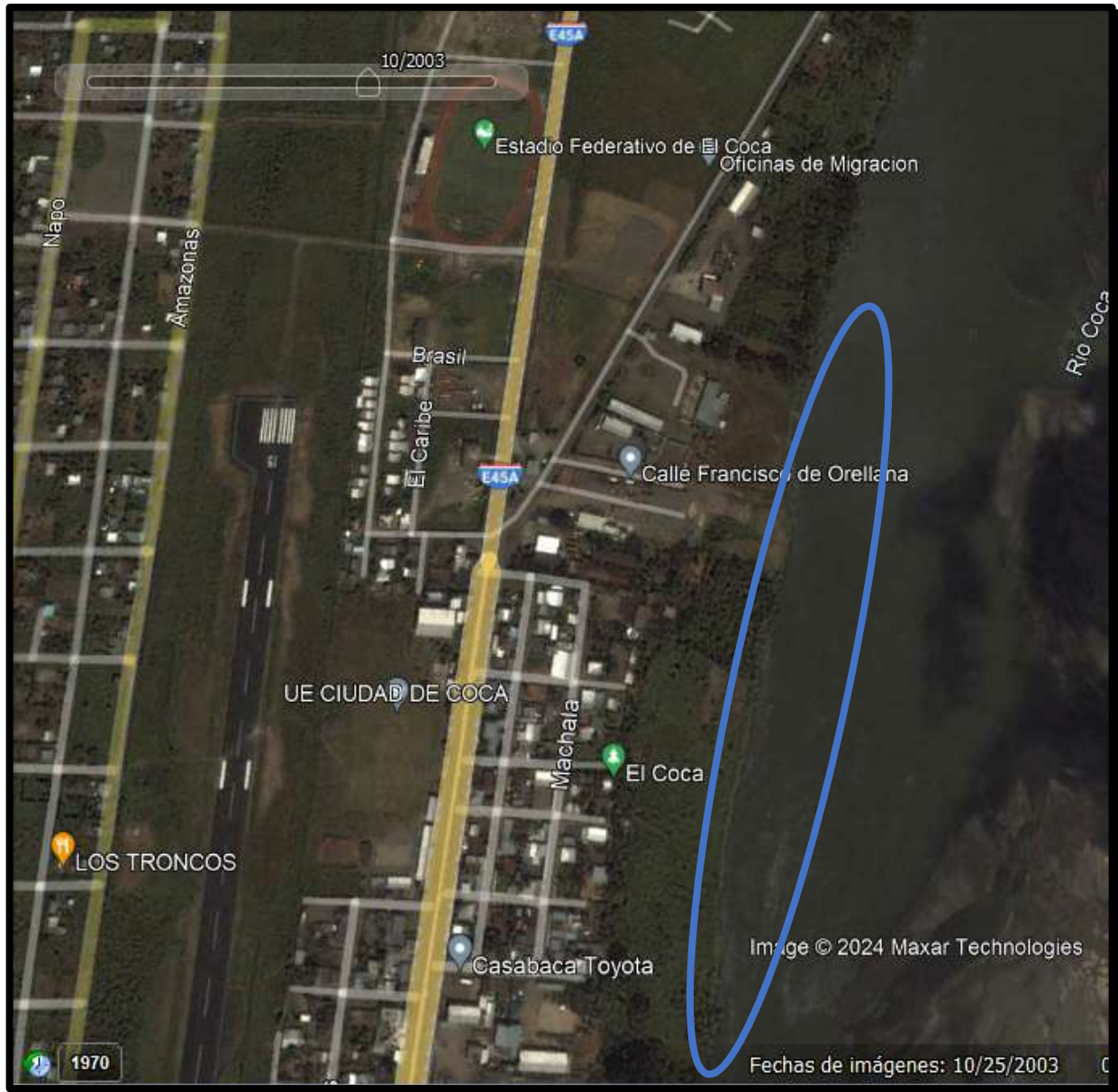


Figura 30. Foto satelital. Parte céntrica de la ciudad. Año 2023. Fuente: Autoría propia.

En la fotografía anterior se observan inicios de erosión en esa zona y la presencia de áreas verdes.

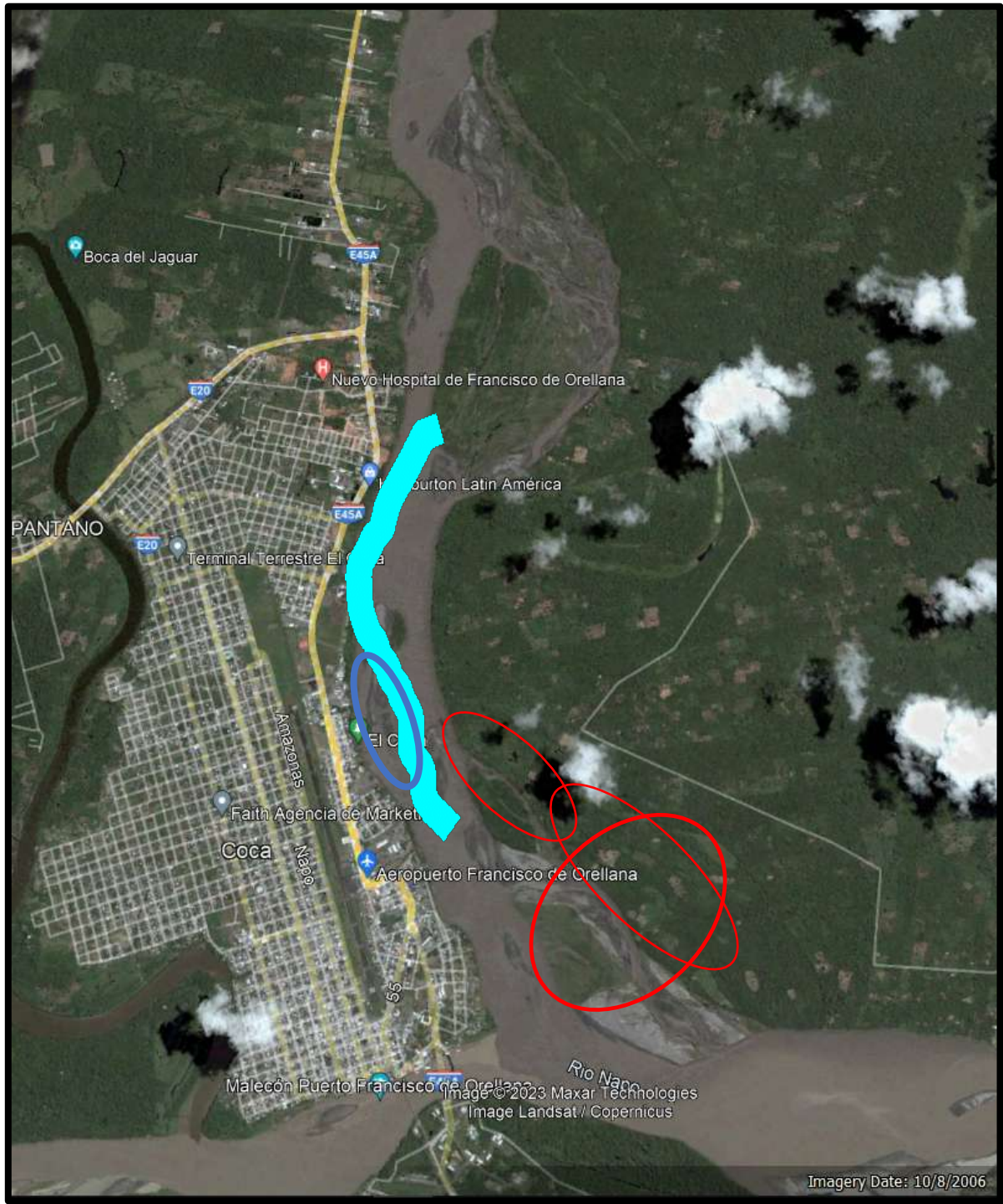


Figura 31. Fotografía satelital año 2006.

En la imagen correspondiente del año 2006 se pueden observar la formación de islas. Además, en las áreas adyacentes a la ciudad, se nota un proceso de erosión en la zona media de la cuenca (circulo azul), evidenciado disminución en la cantidad de tierra en comparación con años anteriores.

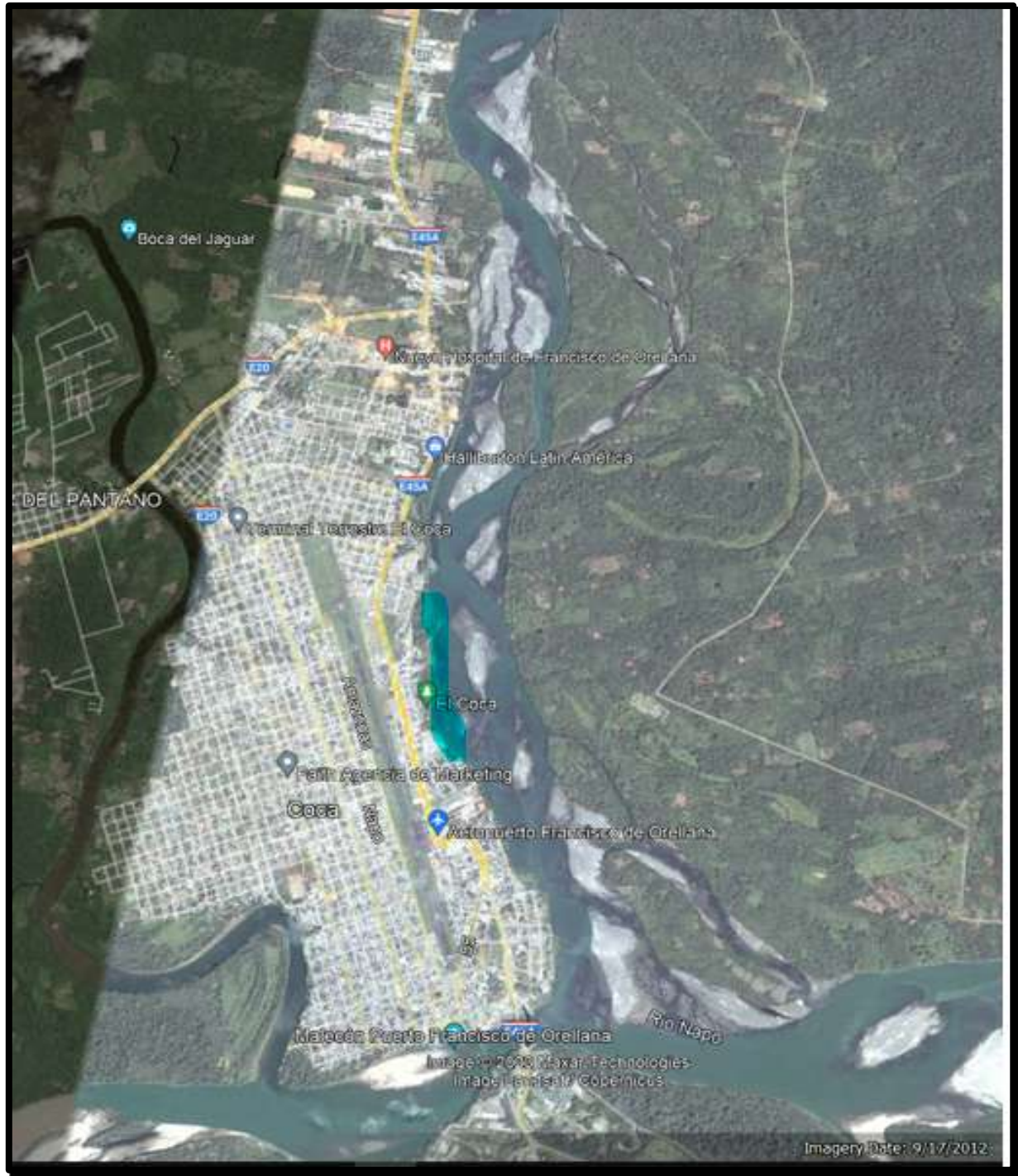


Figura 32. Fotografía satelital año 2012.

En la imagen del año 2012, se observa la presencia de islas o islotes a lo largo de toda la cuenca, junto con una notable pérdida de suelo en niveles significativamente altos, en la parte media de la ciudad (Franja azul). También se observa baja cantidad de caudal.



Figura 33. Fotografía satelital año 2014.

Al examinar la imagen de agosto 2014, se aprecia una reducción en la presencia de islotes en la cuenca, y el color del río es marrón, lo que podría indicar un arrastre significativo de sedimentos. Además, se evidencia erosión en las partes resaltadas de color celeste.

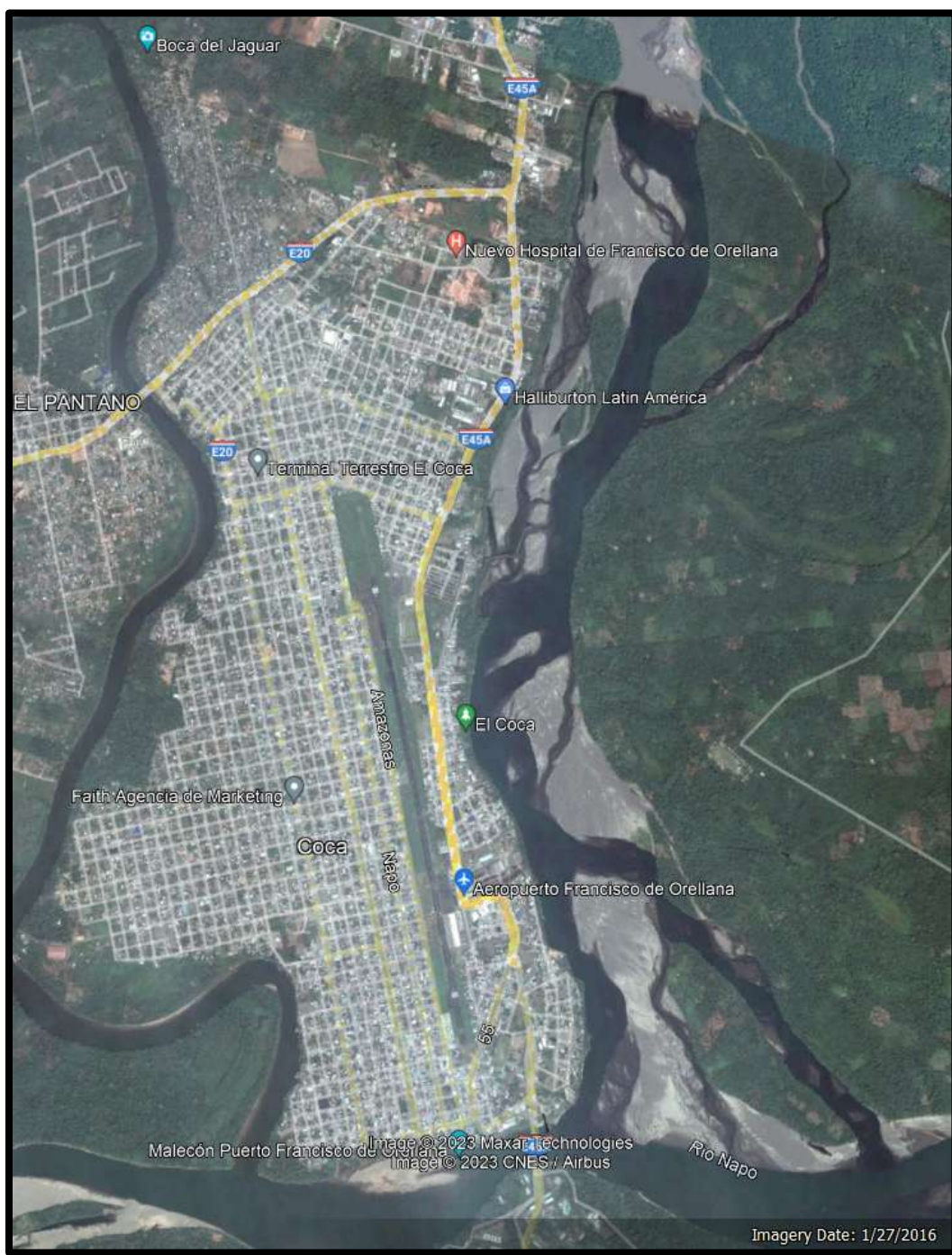


Figura 34. Fotografía satelital año 2016.

En el año 2016, se evidencia una notable presencia de islas o islotes a lo largo de las áreas cercanas a la ciudad, indicando una baja cantidad de caudal. Además, en diciembre de 2015, la primera turbina de la central hidroeléctrica comenzó a operar en fase de prueba. En septiembre, se registró una emergencia de inundación que afectó toda la ciudad, según el informe de la Secretaría de Gestión de Riesgos en 2016.

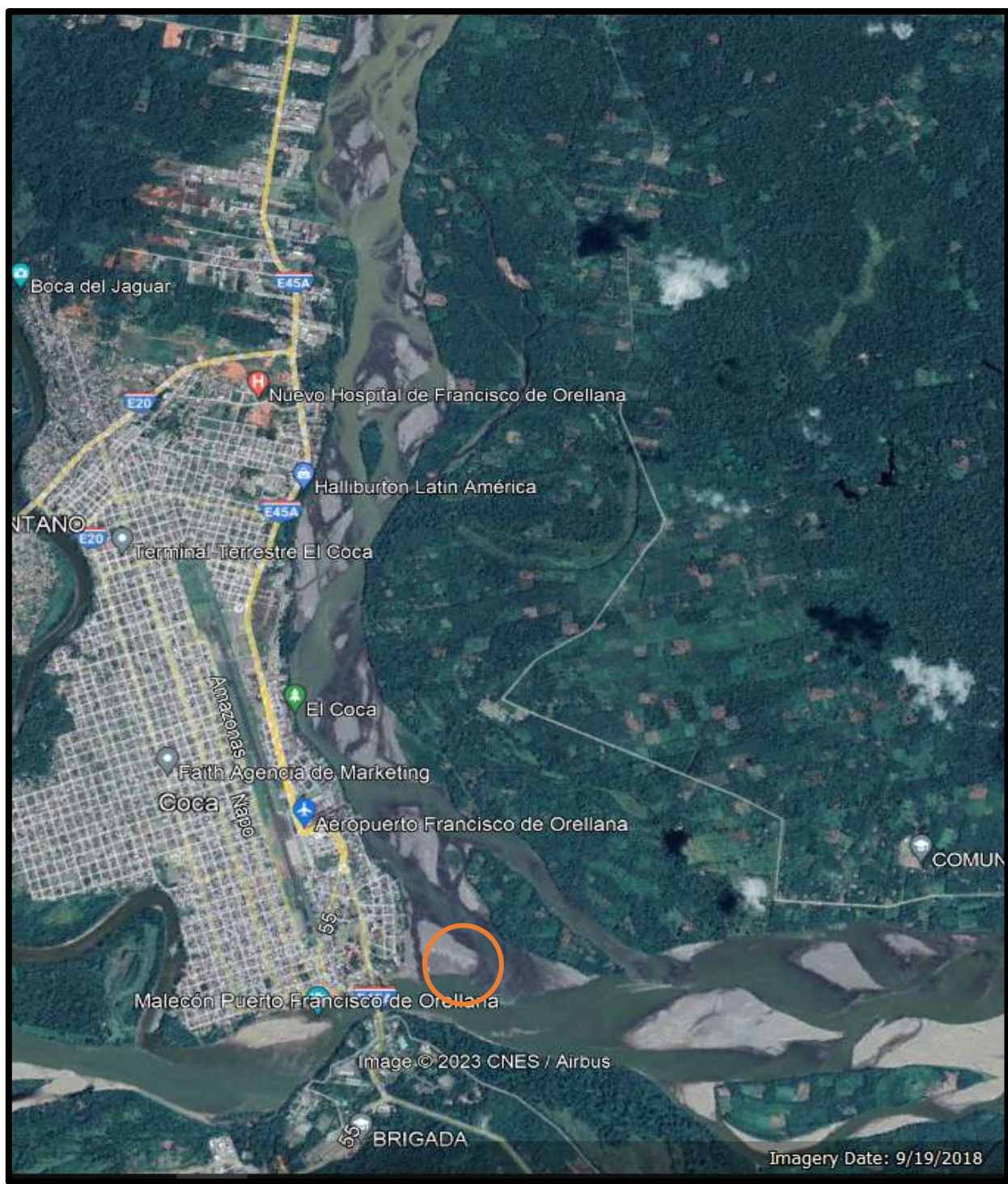


Figura 35. Fotografía satelital año 2018.

En la imagen correspondiente al año 2018, se observa la presencia de sedimentación en el ingreso a la ciudad; también una pérdida de suelo en la parte baja, específicamente en la parte central de la ciudad y como se empieza a formar nuevamente tierra en la salida de la ciudad, como sucedía en el año 1985.



Figura 36. Fotografía satelital 2023.

Se nota una gran presencia de sedimentación en el ingreso y en la salida de la ciudad. También en la parte media sigue habiendo presencia de erosión fluvial.

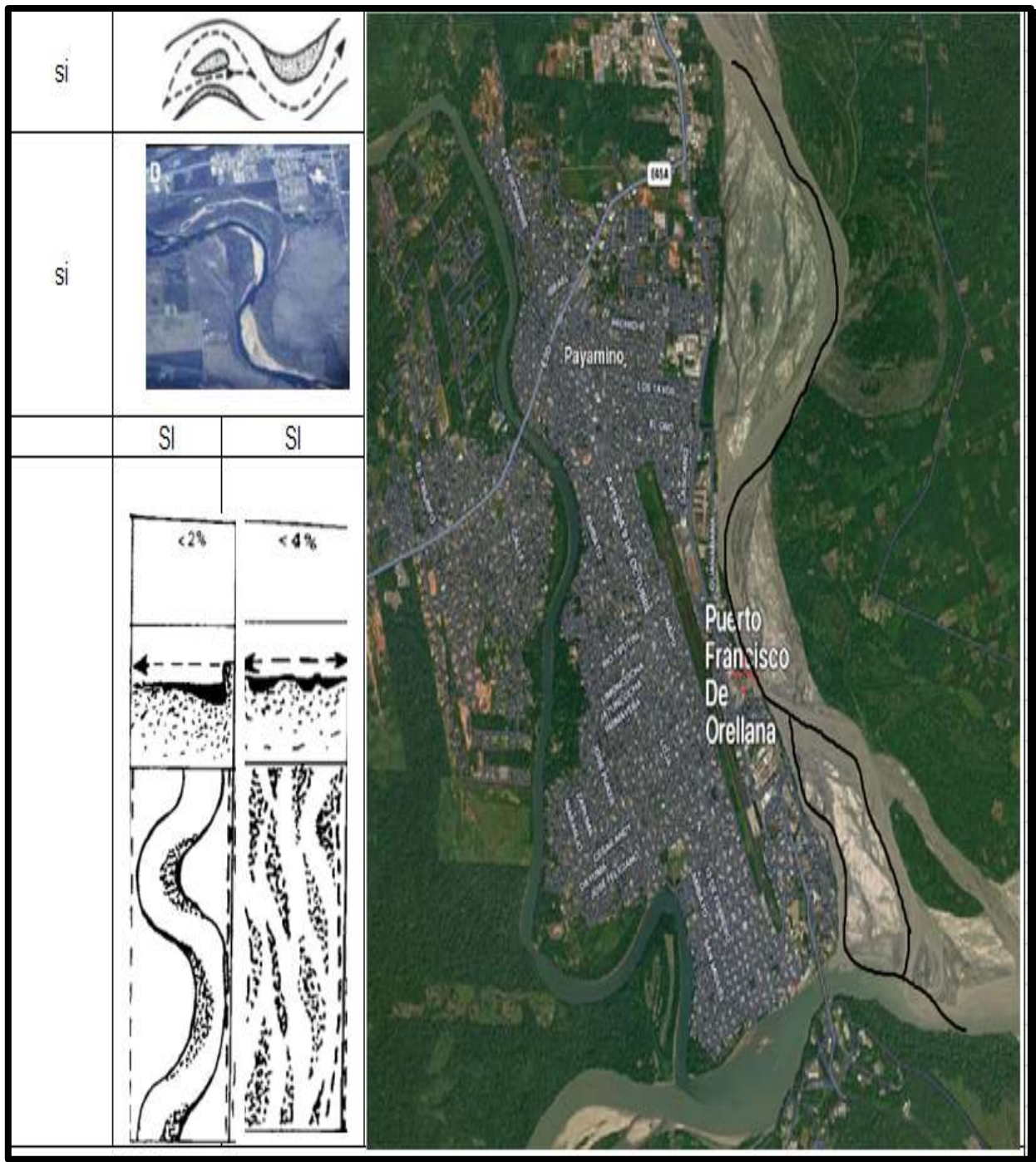


Figura 37. Utilización de gráficas de SCHUMM Y ROSGEN en la zona de la ciudad Francisco de Orellana, linderas al río Coca.

Con la fotografía actual y al ocupar las gráficas de SCHUMM Y ROSGEN, se determina lo siguiente, es de tipo Carga de lecho de canales de baja sinuosidad (la relación entre la longitud del canal y la longitud del valle) con barras de punto y un pequeño número de barras en el canal medio.

4.3. Gestión de proyectos para la planificación, el control y seguimiento en la construcción de obras.

Con el análisis anterior se ha sugerido varias medidas estructurales por lo tanto es importante tener un grado de cumplimiento de ejecución de obras para garantizar que estas obras se lleven a cabo de manera oportuna y de acuerdo a los estándares establecidos, se utiliza el Método del Valor Ganado (EVM, por sus siglas en inglés)

El EVM es un método que proporciona información precisa sobre el tiempo y el costo, permitiendo evaluar el progreso del proyecto en función de factores como la calidad, el costo, el impacto ambiental, entre otros. Este enfoque integra la línea base del alcance, la línea base de costos y la línea base del cronograma para crear una referencia sólida para medir el desempeño del proyecto, como señalan Mattos, A., González Fernández de Valderrama, F., & Sainz Avía, 2014

El EVM monitorea tres puntos clave:

1. El Valor Planificado: Representa la cantidad de trabajo que se suponía que debía haberse completado en un momento dado, de acuerdo con la programación del proyecto.
2. El Valor Ganado: Refleja el trabajo que efectivamente se ha completado hasta el momento, basado en los hitos y las tareas cumplidas.
3. Costo Real: Corresponde al gasto real incurrido hasta el momento en la ejecución de las obras.

Por lo tanto, para establecer los parámetros del tablero de control de este indicador, se utilizará el Método del Valor Ganado (EVM). Este método permitirá lanzar señales y representar visualmente el estado del proyecto de protección. Por ejemplo:

Tablero	Valores	Significado	Razones posibles
Verde	$EV > AC$	El proyecto está por debajo del presupuesto porque se ha gastado menos de lo esperado para realizarlo.	Buena negociación de precios.
			Control de costes.
			Ahorros por mala calidad de la ejecución o de los materiales.
			Medidas.
			Identificar el origen del ahorro.
Amarilla	$EV = AC$	El proyecto está justo en el presupuesto porque se ha gastado exactamente lo esperado para realizarlo.	Mantener el ritmo de trabajo.
			Medidas
Roja	$EV < AC$	El proyecto está por encima del presupuesto porque se ha gastado más de lo esperado para realizarlo.	La productividad real no llegó a la productividad estimada.
			Contratiempos que han encarecido los trabajos: cambios del proyecto, lluvia, huelgas, escasez de material, etcétera.
			Medidas.
			Identificar el origen de las pérdidas.
			Adoptar medidas para prevenir más pérdidas.

Tabla 17. Método del Valor Ganado. Project Management Institute, 2013, pág. 217

El uso del EVM en el tablero de control brinda una visión clara del avance del proyecto y ayuda a los planificadores a tomar decisiones informadas sobre las medidas que deben tomarse para asegurar el éxito del proyecto de protección.

A continuación, se presenta el tablero de control con su respectivo indicador.

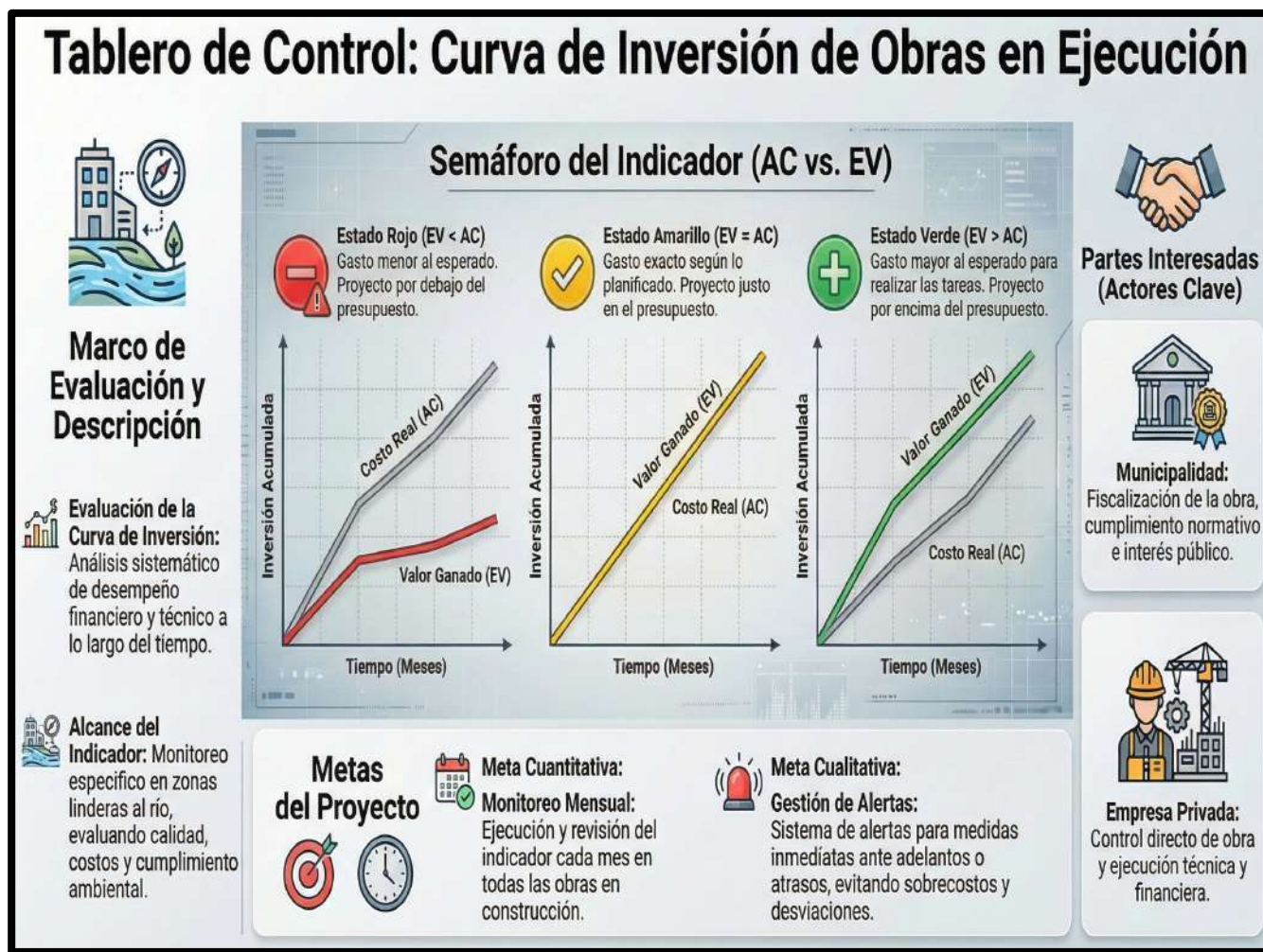


Tabla 18. Tablero de control para el grado de cumplimiento de ejecución de obras. Autoría propia.

4.4 Beneficios de la aplicación del tablero de control al caso de la ciudad de Francisco de Orellana.

En la cuenca del río Coca ha sucedido desastres naturales y problemas ambientales que han puesto en riesgo a la naturaleza, las infraestructuras y a las personas que se encuentran en esta zona, a pesar de que se cuenta con la planificación hídrica del río Napo es importante que en zonas con alto grado de sensibilidad ambiental se desarrolle una herramienta para la gestión integral de cuencas en zonas bajas con amenazas hidrológicas, donde su función principal permita proteger a la población que se encuentra en las linderas de la ciudad Francisco de Orellana, de igual manera se encuentre preparada ante estas emergencias.

La GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS EN ZONAS BAJAS CON AMENAZAS HIDROLÓGICAS tiene un enfoque integrado porque tiene en cuenta las diversas actividades relacionadas con el agua y sus interrelaciones dentro de la cuenca. Esto incluye la gestión de la cantidad y la calidad de los recursos hídricos, así como la gestión de las diversas actividades que tienen lugar dentro de la cuenca, como la agricultura, la industria y la urbanización, y los desastres que puede suceder.

Por los riesgos ambientales que puede tener una zona baja de una cuenca, las consecuencias y el desarrollo de varias infraestructuras importantes y población ubicadas en las linderas de ríos sería fundamental constituir una herramienta con indicadores técnicos que pueden utilizarse para evaluar el estado de la cuenca, incluyendo la cantidad y calidad de los recursos hídricos, el estado de los ecosistemas, la vulnerabilidad de la cuenca a las amenazas hidrológicas y la eficiencia de las soluciones estructurales y no estructurales. Esta información puede utilizarse para desarrollar estrategias de gestión que aborden los problemas más acuciantes.

Según el autor Buccheru and Comellas 2015“para emprender una GIRH es fundamental contar con un fácil acceso a la información sobre el estado de dichos recursos y de los ecosistemas, y sobre las tendencias en uso y contaminación del agua. Además, los responsables de la gestión de recursos hídricos deben ser capaces de contar con información confiable, actualizada y pertinente toda vez que la precisen, en un formato accesible”

Con lo anteriormente mencionado el proporcionar una herramienta con indicadores es un recurso valioso para la gestión integral de cuencas en tierras bajas con amenazas hidrológicas. Puede proporcionar un enfoque estructurado para supervisar y evaluar la eficacia de las estrategias de gestión, fomentar la colaboración y la transparencia entre las partes interesadas y apoyar el uso sostenible de los recursos hídricos.

En este caso, se presentó anteriormente indicadores técnicos enfocados en las metas del objetivo sostenible número 6, los cuales son monitoreo de la cantidad de agua, para enviar alertas a la ciudad con respecto a las zonas inundables, evaluar la eficacia de las obras a construirse para la protección de las riberas de la ciudad, apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales para una mejor gestión integral de cuencas.



Figura 39. Aplicación de tablero de control en la Cuenca Hidrográfica río Coca. Autoría propia

5 Conclusiones.

La herramienta propuesta, que cuenta con indicadores técnicos adaptados a la realidad identificada, representa una solución efectiva para la toma de decisiones en la gestión integral de cuencas bajas con amenazas hidrográficas. Mediante el tablero de control planteado, aplicado como caso de estudio en la cuenca baja del río Coca, tiene como objetivo principal promover el desarrollo resiliente de la ciudad Francisco de Orellana y garantizar que la ciudadanía esté preparada frente a cualquier emergencia. Al implementar el tablero se espera mejorar la capacidad de respuesta y adaptación ante los eventos hidrográficos, protegiendo así la vida y los bienes de los habitantes de la zona y promoviendo el crecimiento sostenible de la ciudad.

Según los cálculos, se determinó que el caudal promedio con un tiempo de retorno de 5 años es de 4 545 m³/s. Para un tiempo de retorno de 10 años, se estima un caudal de 5 052 m³/s, y para un tiempo de retorno de 25 años, se espera un caudal de 6 162 m³/s. Además, se registró un caudal de 6 777 m³/s con un tiempo de retorno de 50 años y de 7 458 m³/s para un tiempo de retorno de 100 años.

Adicionalmente, se ha identificado que la cuenca baja del río Coca recibe un total de 220 millones de tasa de producción de sedimentos. Estos datos son fundamentales para comprender la capacidad de transporte y la dinámica de los sedimentos en la cuenca, lo que resulta relevante para la gestión integral de los recursos hídricos y la planificación resiliente y sostenible, protegiendo así a la población y los activos ante las amenazas hidrográficas y garantizando un manejo adecuado de los sedimentos en la cuenca.

Al analizar los mapas de la zona de inundación se concluye que un 40% de la población que se ubica en las laderas del río Coca se encuentra expuesta a inundación. Se estipula que alrededor de 1800 personas se llegarían a afectar y en caso de existir deslizamiento de la zona, la cantidad de población afectada será 3390 personas aproximadamente.

Se puede lograr una gestión integral efectiva de las cuencas en zonas bajas con amenazas hidrológicas, utilizando indicadores técnicos que brinden una visión clara y precisa de la realidad de la cuenca y faciliten la toma de decisiones informadas para reducir los riesgos y promover la resiliencia.

Se puede concluir con respecto al tablero de control que la implementación de un sistema de alerta temprana, respaldado por indicadores de evaluación de riesgos, se erige como una estrategia integral para la gestión de inundaciones. Desde la planificación coordinada de estrategias hasta la evaluación constante de niveles de crecida y la aplicación de indicadores para la restricción de densificación urbana se entrelaza para proporcionar una defensa efectiva contra los riesgos hidrológicos.

La combinación de tecnología, modelación hidráulica y medidas preventivas ofrece una visión completa y práctica para la protección de comunidades vulnerables, destacando la importancia de la anticipación y la preparación en la gestión de situaciones de emergencia. Adicionalmente se debe impulsar la implementación de brigadas comunitarias en la zona.

El monitoreo y evaluación de la capacidad y estabilidad del cauce del río Coca en la zona de la ciudad Francisco de Orellana es esencial para la gestión sostenible de los recursos hídricos. A través de indicadores como la sección transversal del cauce, la relación ancho-profundo y el perfil longitudinal, así como la interpretación periódica de fotografías aéreas, se ha identificado la presencia significativa de erosión fluvial y una alta sedimentación en el área.

Finalmente, para completar el tablero es fundamental la gestión efectiva de las obras de construcción, respaldada por herramientas como el Método del Valor Ganado (EVM), el cual se presenta como una estrategia clave para garantizar la ejecución oportuna y eficiente de las obras propuestas. El EVM, al proporcionar información precisa sobre el tiempo, el costo y el progreso del proyecto, se convierte en una herramienta valiosa para los planificadores, permitiéndoles tomar decisiones informadas y asegurar el éxito del proyecto de protección y gestión hídrica en la zona.

6 Aportes y Consideraciones

Es necesario realizar estudios más detallados de los perfiles transversales, análisis de riesgo para comprender mejor los patrones de inundación y determinar los tiempos de respuesta específicos para la ciudad. Estos estudios permitirán un enfoque más preciso en la gestión de inundaciones y ayudarán a desarrollar estrategias eficaces para minimizar los riesgos y proteger a la población y sus bienes en esta zona propensa a inundaciones.

Los indicadores técnicos utilizados deben ser validados y actualizados periódicamente para garantizar su precisión y fiabilidad. Esto implica comparar los datos obtenidos con mediciones reales y verificar que los resultados sean consistentes. Asimismo, es necesario estar al tanto de los cambios en la cuenca, como la urbanización o el cambio en el uso del suelo, que puedan afectar los indicadores y ajustarlos en consecuencia.

La aplicación de medidas estructurales, como Geo mantas Anti erosivas y biorretenedores para la erosión, y mangas de geotextiles para la retención de sedimentos, se propone como soluciones sostenibles. El seguimiento regular de estos indicadores y la implementación de medidas propuestas son fundamentales para garantizar la salud a largo plazo de los ecosistemas fluviales y la seguridad de la comunidad.

La gestión integral de cuencas requiere una perspectiva multidisciplinaria y la colaboración de expertos en diferentes áreas, como hidrología, climatología, geología, ingeniería,

ecología, instituto de hidrología y meteorología (INAHMI), la secretaria de riesgos, cruz roja ecuatoriana, municipalidad, entre otras. Es importante fomentar la participación activa de estos profesionales en el desarrollo e implementación de la herramienta para aprovechar su experiencia y conocimientos especializados.

Para la capacitación de brigadas comunitarias debe estar enfocada en habilidades, fomentar el trabajo en equipo y la comunicación efectiva, y proporcionar conocimiento sobre los riesgos locales con la finalidad de que estas brigadas actúen de manera eficiente y coordinada. Además, promover la resiliencia comunitaria y establecer programas de actualización y práctica continua asegurará que estén preparadas para enfrentar desafíos cambiantes. En conjunto, estas acciones contribuirán a formar brigadas comunitarias sólidas y empoderadas, capaces de brindar una respuesta efectiva en situaciones de emergencia y proteger a sus comunidades.

Para futuro trabajo sería importante que la red de alerta presentada se pueda mejorar mediante la utilización de algún modelo matemático (Flood Modeller, STA-LSTM y STA-GRU)

La observación de la zona revela la presencia de varias estaciones meteorológicas. Esto subraya la importancia de contar con una base actualizada de datos para comprender adecuadamente las precipitaciones en la región. Para lograr un análisis más completo y preciso de las precipitaciones, es crucial densificar la red de estaciones meteorológicas. Esta expansión permitirá una cobertura más amplia del área de estudio y una recopilación de datos más exhaustiva, lo que mejorará significativamente nuestra capacidad para comprender y predecir los patrones de precipitación en la zona. Una red más densa de estaciones meteorológicas proporcionará información valiosa para la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos, la planificación urbana y la mitigación de riesgos relacionados con el clima.

7 Bibliografía

- Anónimo. (2011). *¿Qué es el Balance Hídrico?* Aquabook. https://aquabook.agua.gob.ar/461_0
- Armenta, G., Villa, J., & Jácome, P. (2016). PROYECCIONES CLIMÁTICAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA PARA ECUADOR, BAJO DISTINTOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO. *Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología Del Ecuador (INAMHI, 1)*
- Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo Universidad Nacional de La

Plata. (n.d.). *Informe preliminar Cuenca Matanza Riachuelo*. ACUMAR. <https://www.acumar.gob.ar/obras-infraestructura/infraestructura-hidrica/plan-contigencia-ante-inundaciones/informe/>

- Báez-Munoz, C. (2018). *Análisis Geomorfológico Y Tectónico Para La Determinación De Los Factores Condicionantes En La Producción De Sedimentos De La Subcuenca Hidrográfica Del Río Salado (Cuenca Hidrográfica Del río Coca)*. 165. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19058?mode=full>
- Banco Mundial. (2016). Métodos de evaluación de riesgos y amenazas de inundación. *Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial*, 28. https://collaboration.worldbank.org/content/usergenerated/asi/cloud/attachments/sites/collaboration-for-development/en/groups/cdrp/documents/_jcr_content/content/primary/blog/metodos_de_evaluacio-nl2q/Métodos de evaluación de riesgos y amenazas de inunda
- Estándares mínimos de prevención y mitigación de riesgos para el ordenamiento territorial, uso y gestión de suelo y para la edificación Estándares para cumplimiento de los Artículos 8 y 91 de la LOOTUGS, Pub. L. No. RESOLUCIÓN Nro. SGR-045-2023 (2023). <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2023/03/Resol.SGR-045-2023.pdf>
- BID, B. interamericano de desarrollo. (2011). I Sostenibilidad Urbana en América Latina y el Caribe. *Sostenibilidad Urbana En América Latina y El Caribe*, 57.
- Bompan, E. (2017). *Mekong El río en disputa*. Gianluca Cecere. <https://elpais.com/especiales/2017/planeta-futuro/rio-mekong/>
- Britannica, T. (2022). Erosion. In *Editors of Encyclopaedia (Encyclopae)*. <https://www.britannica.com/science/erosion-geolog>
- Buccheru, M., & Comellas, E. (2015, June 1). *Indicadores para el monitoreo y evaluación hacia la GIRH – Estrucplan*. Www.Ina.Gov.Ar. <https://estrucplan.com.ar/indicadores-para-el-monitoreo-y-evaluacion-hacia-la-girh/>

- CC&CONSULTORES. (2017). *ESTUDIO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO DE CRECIDAS DE LA RIBERA DEL RÍO COCA EN LOS BARRIOS PERLA AMAZÓNICA CAMBAHUASI Y UNIÓN Y PROGRESO, MISMOS QUE SERVIRÁ PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS PROYECTOS DE MITIGACIÓN DE RIESGOS DE EROSIÓN FLUVIAL, DE LA PARROQUIA PUERTO FRANCISCO DE ORELLANA, CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA, PROVINCIA DE ORELLANA Para: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Francisco de Orellana, Dirección de Gestión de Riesgos.*
- Charlton. (2008). *Fundamentals of fluvial geomorphology.*
- CISPDR, (Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research). (2016). *Plan Nacional de Gestión Integrada e Integral de los Recursos Hídricos y de las Cuencas y Microcuencas hidrográficas de Ecuador. Memoria.* 602.
- Comisión del río Mekong. (2021). Defined BDS Output indicators for MRC. *The Basin Development Strategy 2021-2030.*
https://assets.foleon.com/eu-west-2/uploads-7e3kk3/27463/defined_bds_output_indicators_for_mrc_.be2e953e568f.pdf
- Comisión Nacional de Actividades Espaciales. (2022). *Satélites para mejorar la gestión de los recursos hídricos.*
<https://www.argentina.gob.ar/noticias/satelites-para-mejorar-la-gestion-de-los-recursos-hidricos>
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2017). Capítulo 7 Morfometría. In *Capítulo 7 Morfometría* (Vol. 7, p. 32).
<https://www.studocu.com/co/document/fundacion-universitaria-agraria-de-colombia/hidrologia/7-capitulo-i-diagnostico-morfometria/9517296>
- Dávila, D. (2016). *Sistemas de alerta temprana ante inundaciones en América Latina.* Infolnundaciones.
<http://repo.floodalliance.net/jspui/44111/1793>
- Dinámica, L. A., Sábalo, D. E. L., Pilcomayo, D. R. I. O., Acu, E., Ande, J. V. A. N., Chaco, A., Antonio, M., & Tarija, G. (1999). GENERACIÓN Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA ALTA CUENCA DEL RÍO BERMEJO. IMPACTO EN LA HIDROVÍA, DELTA DEL PARANÁ Y RÍO

DE LA PLATA. In *Argentina*.

- Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (1999). Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. *C E P A L Comisión Económica Para América Latina y El Caribe*, 6. <https://doi.org/10.1007/BF00973232>
- Eidam, E. F., Langhorst, T., Goldstein, E. B., & McLean, M. (2021). OpenOBS: Open-source, low-cost optical backscatter sensors for water quality and sediment-transport research. In *Limnology and Oceanography: Methods*. <https://doi.org/https://doi.org/10.31223/X5KC9W>
- Elliott, S. (2010). *El río y la forma*. Santiago de Chile.
- Escuder-Bueno, I., Castillo-Rodríguez, J. T., Zechner, S., Jöbstl, C., Perales-Momparler, S., & Petaccia, G. (2012). A quantitative flood risk analysis methodology for urban areas with integration of social research data. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(9), 2843–2863. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-2843-2012>
- Escuder, I., Morales, A., Castillo Rodríguez, J. T., & Perales Momparler, S. (2010). Strategies of Urban Flood Risk Management. In *Instituto de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente*. http://www.ipresas.upv.es/docs/2010_12_15_Memoria_SUFRI_WP3_borrador.pdf
- Evelio, J., Hernández, G., Laura, D., & Rascón, E. M. (2013). *Los Problemas Del Agua Y De Las Cuencas Hidrológicas Vinculados a Las Ciudades. Estudio De Casos De Las Repúblicas De México Y Cuba* (Grupo de H). https://www.academia.edu/22981677/Los_problemas_del_agua_y_de_las_cuencas_hidrológicas_vinculados_a_las_ciudades
- Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). Diseño Hidrológico. In *Water Assessment & Advisory Global Network* (Vol. 2da).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). *Indicadores FAO*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/es/>
- G, M. C. T. (2018). Resultados de la Modelaciones Biofísicas,

valoración económica y propuesta de políticas. *EPN & PNUMA*.

- Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, E. G., Delgado, M. I., & Besteiro, S. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas Libros de Cátedra* (Universidad).
<https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/5798>
- Golosov, V., & Walling, D. E. (2019). *EROSION AND SEDIMENT PROBLEMS: GLOBAL HOTSPOT* (United Nat).
- Groten, J. T., Levin, S. B., Coenen, E. N., Lund, J. W., & Johnson, G. D. (2023). A Novel Suspended-Sediment Sampling Method: Depth-Integrated Grab (DIG). *Midwest Water Science Center, U.S. Geological Survey*. <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/13/7844>
- Gutiérrez, C., Roura, J., & Melo, P. (2007). *PROYECTO AMAZNOR PROYECTO SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA ANTE INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE FRANCISCO DE ORELLANA (EI COCA)*.
- LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA., Registro Oficial Suplemento N° 305 43 (2014). <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12114/623>
- INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS. (2001). Learning to live with rivers. In *Institution of Civil Engineers, 1 Great George Street, London, SW1P 3AA*.
- Jimena Andreazzini, M., Degiovanni, S., Spalletti, P., & Irigoyen, M. (2014). *PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN UNA CUENCA DE SIERRAS PAMPEANAS, CÓRDOBA, ARGENTINA: ESTIMACIÓN PARA DISTINTOS ESCENARIOS* (Vol. 6, Issue 1).
- Lavell, A. (n.d.). *Gestión de Riesgos Ambientales Urbanos*.
- Leopold, Luna B. Wolman, M. G., & Miller, J. P. (1965). *Fluvial Processes in Geomorphology*. DOVER PUBLICATIONS, INC.
- López Cadenas de Llano F. (1998). *Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión* (Mundi Prensa (ed.)). Ingeniería Medioambiental, TRAGSATEC, Ministerio de Medio Ambiente.
- Lord, M. L., Germanoski, D., & Allemendinger, N. (2009). Monitoring

River Systems and Fluvial Landforms. *Geological Society of America*, 69–103. [https://doi.org/10.1130/2009.monitoring\(04\)](https://doi.org/10.1130/2009.monitoring(04))

- MARÍN URIBE, G. (2002). *Cauces meándricos o meandriformes*. Escuela Colombiana de Ingeniería. Centro de Estudios Hidráulicos y Ambientales.
https://transportesedimentos.tripod.com/esp/pagina_nueva_16.htm#ÍndiceTablas
- Matus, C. (2008). *Política, planificación y gobierno*. Fundación Altadis.
- Mendoza, V. (2011). DE GESTIÓN DE CUENCAS : MARCO TEÓRICO , EJEMPLOS Y CASOS Documento Síntesis del Taller Indicadores de Gestión de Cuencas Patricia Puebla. *Red Argentina de Capacitación y Fortalecimiento En Gestión Integrada de Los Recursos Hídricos*.
- Ministerio de Agricultura y Alimentación. (1978). *Estudio de los Parámetros Geomorfológicos de una Cuenca*. (p. 32). Boletín Técnico Nro. 2.
- Montgomery, D. R., & Buffington, J. M. (1998). *Channel Processes, Landform and Sediment Deposits* (University of Washington Press (ed.)).
- OFEE. (1997). *Prise en compte des dangers dus aux crues dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire*.
file:///D:/Users/DELL/Downloads/prise_en_compte_desdangersdusauxcruesdanslecadredesactivitesdelam.pdf
- Pinza, J., & Angulo, E. (2021). Monitoreo de las inundaciones en la provincia de Orellana- El Coca, de los ríos Napo y Payamino, estudiando sus afluentes y estaciones fluviales. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, 16.
<https://www.calameo.com/read/006601531cb65a99d055d>
- Restrepo, J. C., & Pierini, J. O. (2012). Medición de la concentración de sedimentos en suspensión mediante dispositivos ópticos y acústicos: aplicación en sistemas tropicales (Delta del río Mira, Colombia). In *Latin American Journal of Aquatic Research* (Vol. 40, Issue 1).
<https://doi.org/10.3856/vol40-issue1-fulltext-15>
- Rosgen, D. L. (1994). A classification of natural rivers. *CATENA*, 22(3),

169–199. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(94\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90001-9)

- Sciortino, J. B. (2019). *Elementos de hidrología*. Ingeniería Recursos Hídricos.
- Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos - Gestión de Riesgos-GADMFO. (2011). *Amenazas y Peligros de la ciudad Francisco de Orellana, EL COCA*.
- The Australian Institute for Disaster Resilience. (2017). Disaster Resilience Handbook 7 Managing the Floodplain: A Guide to Best Practice in Flood Risk Management in Australia (AIDR 2017). In The Australian Institute for Disaster Resilience (Ed.), *Australian Government Attorney-General's Department*. (Vol. 2th). <https://knowledge.aidr.org.au/media/3518/adr-guideline-7-3.pdf>
- Vientiane, L. (2021). Mekong River monitoring network improvement receives French support. *Mekong River Commission For Sustainable Development*. <https://www.mrcmekong.org/news-and-events/news/pr-17052021/>

TESIS II

APORTES AL PLANEAMIENTO ESTRATÉGICO DE LOS SISTEMAS
CLOACALES CENTRALIZADOS Y DESCENTRALIZADOS
RESPECTO A LOS PUNTOS FINALES DE VUELCO

Caso de estudio: Zona Sur del Área Metropolitana de
Buenos Aires (AMBA) Argentina

Tesista: Ing. Gabriel Tryfón

Directora de Tesis: Dra. Mg. Verónica Cáceres

Co-Directora: Ing. Patricia Caso



RESUMEN

La disponibilidad del servicio de saneamiento se encuentra directamente relacionada con la calidad de vida de la población. Al año 2022, 3.500 millones de personas carecen de servicios de saneamiento gestionados de forma segura, dentro de los cuales 1.500 millones carecen del mismo. Sobre esta última estadística de la Organización de las Naciones Unidas es que se centra la presente tesis que busca estudiar en detalle los sistemas centralizados y descentralizados para encontrar la forma más eficiente de planificación de una manera estratégica e integral. Se tiene en cuenta el inicio del saneamiento en el país focalizado como caso de estudio en municipios del sur de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires hasta su futura universalidad, lo que genera evidentes externalidades positivas en la salud de la población, siendo un sector estratégico para el desarrollo económico y la sustentabilidad ambiental. La correcta planificación es capaz de potenciar los beneficios para la población y el cuidado del medio ambiente, por lo que se culmina la tesis con un capítulo que trata de ejemplos concretos a nivel país y mundial sobre la reutilización del líquido cloacal.

ABSTRACT

The availability of sanitation services is directly correlated with the population's quality of life. As of 2022, 3.5 billion people lack safely managed sanitation services, of which 1.5 billion lack access entirely. This thesis focuses on the latter United Nations statistic, aiming to examine centralized and decentralized systems in depth to identify the most efficient framework for strategic and integrated planning.

The research considers the evolution of sanitation within the country—focusing on municipalities in the southern region of the Autonomous City of Buenos Aires as a case study—through to its eventual universal coverage. This progress generates significant positive externalities for public health, constituting a strategic sector for economic development and environmental sustainability. Given that rigorous planning is capable of optimizing benefits for both the population and the environment, this thesis concludes with a chapter addressing concrete national and global precedents regarding the reclamation and reuse of wastewater.

1. INTRODUCCIÓN OBJETIVOS DEL TRABAJO DE TESIS

Los servicios de provisión de desagües cloacales y su adecuado tratamiento previo vuelco a los cuerpos receptores poseen un impacto social muy importante a través de su intervención y universalización. Esta importancia, dentro de un sector estratégico para el

desarrollo económico, la sustentabilidad ambiental, la salud y calidad de vida de la población, viene aparejada, a su vez, por constantes sucesos ocurridos con el cambio climático y, más en la actualidad, con la pandemia del Coronavirus 19 (COVID 19) que hemos vivido. El cambio climático es definido como el “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (Artículo 1 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). Los impactos físicos se observan principalmente en los sistemas geofísicos, incluidas las inundaciones, las sequías y la elevación del nivel del mar. Por otro lado, los efectos de la pandemia por el COVID-19 no hacen otra cosa que reforzar la importancia del correcto saneamiento, contribuyendo a ser una de las primeras barreras contra la transmisión del virus que la generó, además de mitigar los impactos secundarios y proveer el bienestar de la población en la etapa de recuperación post pandemia. Esta emergencia del coronavirus actualiza condiciones de riesgo preexistentes y deja expuestos procesos históricos de larga data ligados a la desigualdad en el acceso al agua potable y el saneamiento (Merlinsky y Tobías, 2020).

La planificación de las redes y tratamientos cloacales pasa a ser un poderoso medio para que este derecho humano básico se convierta en esencial para la realización de todos los demás derechos humanos como la salud, el acceso a la vivienda digna y a una alimentación adecuada (Ministerio de Obras Públicas, 2022). Partiendo de la base que el acceso al agua y saneamiento, más que un problema de causas naturales o técnicas, responde más bien a cuestiones políticas asociadas a su producción y distribución (Swyngedouw, 2006), este trabajo persigue explotar al máximo este potencial de una planificación integral y estratégica para medianas y grandes ciudades.

Esta presentación sigue las bases y condiciones solicitadas que retoma la tesis que se titula “Aportes al Planeamiento estratégico de los Sistemas Cloacales Centralizados y Descentralizados respecto a los puntos finales de vuelco” superior a las 140 carillas y 11 anexos presentada en el posgrado Maestría en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana a finales del año 2023 y defendida ante jurados en 2024. A lo largo de la misma se indaga sobre la importancia que implica la falta de saneamiento considerando el funcionamiento actual en Argentina. De allí, se centra la atención específicamente en el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA, en adelante) con el análisis pormenorizado focalizado en cinco municipios del sur del Gran Buenos Aires, a enumerar Almirante Brown, Avellaneda, Lanús, Lomas de Zamora y Quilmes.

Los modelos de decisión y proyección de grandes obras que existieron en nuestro país, generaron por un lado y desde sus orígenes un sistema centralizado con la implementación de colectores de grandes diámetros, con las tres cloacas máximas, con vuelco a un único punto en el cuerpo receptor del Río de La Plata, estudiando cómo caso de estudio el

Colector Magdalena y con estación de bombeo cloacal (EBC, en adelante) interconectadas una con otras, con el caso de estudio de la EBC Avellaneda Este.

A partir de dicho análisis se propone generar la comparación con los sistemas descentralizados existentes que se iniciaron, salvo excepciones, en este siglo en el AMBA con plantas depuradoras de barros activados y lechos percoladores, con sus respectivos casos de estudio, Planta Depuradora Lanús y Planta Depuradora Sudoeste Módulo I. De esta forma, se llegará a un ejemplo de análisis social, económico y ambiental que denote la importancia de selección del saneamiento y su adecuado tratamiento. Finalmente, en un último capítulo se dará a conocer experiencias ajenas al área de estudio en la cual la reutilización del líquido cloacal ya es una realidad, cambiando estratégicamente la mirada, donde deja de ser un desecho que se trata con el fin de ser volcado en cuerpos receptores a utilizarlo como un recurso que vuelve a la naturaleza.

En relación a la metodología de desarrollo se plantea cuatro fases descriptas en el correspondiente Plan de Tesis, a enumerar: fase de investigación teórica que consiste en la búsqueda y sistematización de un conjunto amplio que incluyó bibliografía que proviene del CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), CONE (Biblioteca Nacional de Ciencia y Tecnología), y las revistas técnicas de Obras Sanitarias de la Nación, las mismas pertenecían a los años 1938 hasta 1943. También se relevaron las normativas que brindan el encuadre legal e institucional a los servicios considerados en el AMBA. Por otro, se consultaron los Censos de Población, Hogares y Vivienda del Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina (INDEC, en adelante) respecto a los indicadores de cloaca que se relevan. Se han considerado los planes directores, diagramas de relaciones y plan de expansión y mejoras de empresa prestataria Agua y Saneamientos Argentinos S.A. (AySA, en adelante). La segunda fase fue de relevamiento de datos prácticos supeditado a comprender e interpretar a nivel integral y macro el funcionamiento actual en los municipios enumerados del servicio cloacal con sus puntos de vuelco existentes como ser el Río de La Plata y el Río Matanza- Riachuelo. Además del análisis documental con la lectura de múltiples libros y artículos sanitaristas también se realizaron entrevistas a profesionales, especialistas y expertos de la temática tanto a quienes han desarrollado investigaciones como a trabajadores actuales que se dedican a la planificación, ejecución y mantenimiento de las redes cloacales y estaciones de bombeo.

La tercera fase, a través del marco teórico aplicable, es la de procesamiento de datos y análisis sobre los dos sistemas a encarar con sus particularidades y características. Se incursionó como principal aporte en la generación de planos con el estado actual de las áreas de influencia del sistema cloacal distribuido por las cloacas máximas, las principales estaciones de bombeo cloacal y las plantas localizadas en el área de estudio. Estos planos fueron realizados siguiendo el sentido de escurrimiento de cada una de las cañerías cloacales existentes con sus puntos de vuelcos asociados lo que permitió comparar esta actualidad con el funcionamiento diez años atrás y con la futura universalización del

servicio. Teniendo en consideración los capítulos sobre los sistemas centralizado y descentralizado, se logró concluir en cómo fue, es y será el sistema de desagües cloacales según su punto de vuelco identificándolo en planos y generando los porcentajes según los municipios estudiados, que suman más de 2.5 millones de personas. En la cuarta y última fase de redacción del documento principal con los respectivos anexos, como así también el armado de una presentación de sustentación para la defensa propia ante el jurado.

1.1. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE TESIS

Objetivo General

Establecer lineamientos y comparaciones para la proyección del sistema integral y estratégico de saneamiento más adecuado de las redes cloacales en función al cuerpo receptor en los municipios del sur del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) bajo la concesión de la empresa Aguas y Saneamientos S.A. (AySA).

Objetivos Específicos

Describir la cobertura cloacal actual en Argentina y focalizarlo en sistemas centralizados de los descentralizados en los municipios de Almirante Brown, Avellaneda, Lanús, Lomas de Zamora y Quilmes.

Caracterizar la evolución del saneamiento en el AMBA desde sus orígenes con una perspectiva con especial hincapié y enfoque en el transporte de las cloacas máximas del sistema centralizado y como con el correr de las décadas comenzó a tomar presencia el descentralizado con sus respectivos puntos de vuelco finales.

Analizar el área de cobertura cloacal actual con los planes directores de AySA con la futura expansión hasta llegar a la universalidad. Elaborar documentación gráfica que permita comparar las dos concepciones en tres etapas cronológicas, con el inicio de los planes directores de la empresa prestataria, en la actualidad y una vez que se complete la universalidad del servicio.

Evaluar social, ambiental y económicamente los sistemas centralizados y descentralizados con la principal obra de saneamiento de los últimos 70 años en el AMBA.

Explorar y definir distintas alternativas existentes en Argentina y a nivel mundial a fin de potenciar una mirada sustentable con el cuidado con el medio ambiente y, consecuentemente, con la capacidad e inversión asociada de las plantas de tratamiento.

2. IMPORTANCIA DEL SANEAMIENTO

La Organización de las Naciones Unidas (ONU, en adelante) junto con la autoridad directiva y coordinadora de la acción sanitaria dentro de su sistema, la Organización Mundial de la Salud (OMS, en adelante) reconocen el mayor riesgo de contraer enfermedades hídricas generadas y transmitidas por el agua proveniente de fuentes de agua contaminadas, especialmente por la descarga de efluentes de aguas residuales domésticas no tratadas en ríos y lagos y la infiltración de excrementos a tanques sépticos sin mantenimiento. Es por esto que son consideradas como un derecho humano esencial amparado por el derecho internacional bajo la Resolución 64/292 de julio de 2010, en la Asamblea General de las Naciones Unidas. En la región de América Latina y el Caribe persisten brechas importantes de cobertura en el acceso a agua potable y saneamiento de calidad. Al respecto, 1 de cada 4 personas no tienen acceso a agua potable gestionada de manera segura (161 millones de personas) y más preocupante todavía es que 7 de cada 10 no tienen acceso a saneamiento gestionado de forma segura (431 millones de personas).

Las acciones tendientes a la universalización de estos servicios básicos tienen un carácter progresivo y colaboran en la disminución de las desigualdades hoy existentes (Lentini, Brenner y Mercadier, 2018). Las desigualdades acarrear serios problemas para la salud y deterioran la calidad de vida de las personas. Ante esta situación preocupante, los países miembros de la ONU, en la cual Argentina conforma uno de los 50 países miembros fundadores en el año 1945, asumieron diferentes compromisos internacionales para enfrentar el desafío de reducir las desigualdades. A lo largo del presente siglo han aprobado dos agendas teniendo en cuenta la accesibilidad y universalidad, una con metas para el año 2015 y otra, actualmente en vigencia, para el 2030 donde sienta las bases en materia de agua potable y saneamiento. Esta última considerada una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino para mejorar la vida de todos los habitantes a través de la implementación de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. Uno de ellos, el objetivo 6, sienta las bases en materia de agua potable y saneamiento, específicamente a la temática, se destaca su ítem 2 que busca “para el 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todas las personas” y su ítem 3 “mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial” (ONU, 2015).

La actual clase dirigente y empresarial a nivel mundial se encuentran en constante inversión en infraestructura para poder cumplir ambas metas referidas al saneamiento, a pesar de que hoy en día las autoridades a nivel nacional no están teniendo en cuenta su cumplimiento. Sin embargo, para resaltar que el rumbo debe ser opuesto al hoy adoptado,

destacamos estadísticas que dan cuenta de la importancia, por ejemplo la propia OMS afirma por un lado, que cada dólar invertido en saneamiento se recupera en salud y las estimaciones realizadas para la Argentina detallan que, por cada dólar invertido, se ahorra USD 8 en salud (Hulton y OMS, 2012) dando cuenta que ninguna intervención tiene mayor impacto sobre la salud pública y el desarrollo que la provisión de agua segura y saneamiento adecuado y, por otro lado, que los beneficios sociales y económicos en comparación con sus costes, poseen una relación global media del 5,5 para el saneamiento mejorado (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2019). A su vez, otros datos estadísticos sobre la universalización del servicio de saneamiento es que en el mundo, en conflictos prolongados, los niños menores de 5 años tienen 20 veces más probabilidades de morir de enfermedades diarreicas relacionadas con el agua no potable y el saneamiento que por la violencia en los conflictos y que el 80 % de las enfermedades que aquejan a los países en desarrollo, son atribuibles en gran parte a necesidades básicas relacionadas con el saneamiento ambiental (Louro Bernal, 2013:404).

La investigación se focaliza en la planificación para todas aquellas empresas que proveen el servicio de saneamiento y deban expandirlo entre sus habitantes que aún carecen, no sólo en nuestro país sino a escala mundial. Estadísticamente, según el último informe de la ONU del año 2023, que trata de una comparativa entre 2015 y 2022, la proporción de la población mundial en cuanto a los servicios de saneamiento gestionados de forma segura aumentaron del 49 al 57 por ciento, en otras palabras este progreso significa que 911 millones de personas adicionales lo poseen; la defecación al aire libre disminuyó de 715 millones a 419 millones durante este período. Sin embargo, en 2022, 3.500 millones (en el inicio del período eran 3.800 millones) de personas carecían de servicios de saneamiento gestionados de forma segura, incluidos 1.500 millones sin servicios básicos de saneamiento. La ONU concluye que para lograr la cobertura universal para 2030, las tasas actuales de progreso tendrían que aumentar cinco veces.

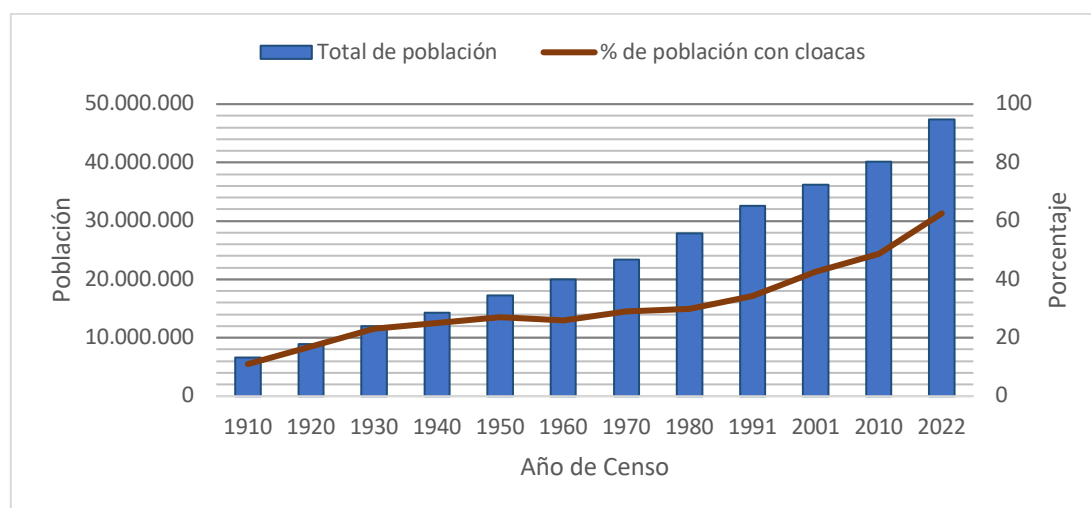
3. EL SANEAMIENTO (Y SU FALTA) EN ARGENTINA

La Nación Argentina adopta para su gobierno la forma representativa, porque gobiernan los representantes del pueblo; republicana ya que sus representantes son elegidos por el pueblo a través del sufragio existiendo la división de tres poderes y una Constitución escrita y federal porque los 23 estados provinciales y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires conforman instancias autónomas que dictan sus propias constituciones y votan sus gobernantes (Casa Rosada, 2023). Asimismo, las actividades que se desarrollan quedan en tres esferas político-administrativas con distinta jerarquía: municipio, provincia y nación (Minaverry y Cáceres, 2013). Cada una de las provincias tiene jurisdicción sobre los recursos hídricos, incluidos los ríos interjurisdiccionales. En consecuencia, la responsabilidad sobre la prestación de los servicios recae sobre las jurisdicciones

provinciales y, por delegación de estos últimos, en algunos casos también sobre los municipios.

La evolución de la cobertura de agua potable y saneamiento, en conjunto con el incremento poblacional, ha variado en los últimos 100 años teniendo en cuenta la siguiente gráfica basados en los datos producidos por el INDEC, llegando a un 62.6% de población que posee cobertura de red cloacal pública según los resultados del último censo correspondiente al año 2022.

Ilustración 1 - Porcentaje de cobertura de saneamiento en Argentina según Censos



Fuente: Elaboración propia en base a datos publicados por el INDEC¹

En Argentina no existe un requisito formal para compartir datos con el Gobierno Nacional, ni un sistema unificado de recopilación o monitoreo de datos donde cada provincia produce sus propios datos por lo que varía según jurisdicciones (OCDE, 2020). Tampoco existe, para el sistema donde no llegan los desagües cloacales, una base de datos integrada sobre los operadores de camiones cisterna que recogen y transportan residuos sépticos (Banco Mundial, 2021).

En consecuencia, en base a los tres últimos censos realizados en lo que si se contiene información, se aprecia en el siguiente gráfico la evolución de la cobertura del servicio cloacal distribuido por provincias, que se pueden apreciar en el **Anexo 1**.

¹ Teniendo a la población expresada en millones de habitantes. Año 1910: Población 6.6; Cobertura 11%; Año 1920: Población 8.9; Cobertura 17%; Año 1930: Población 12.0; Cobertura 23%; Año 1940: Población 14.3; Cobertura 25%; Año 1950: Población 17.3; Cobertura 27%; Año 1960: Población 20.0; Cobertura 26%; Año 1970: Población 23.4; Cobertura 29%; Año 1980: Población 27.9; Cobertura 30%; Año 1991: Población 32.6; Cobertura 34%; Año 2001: Población 36.2; Cobertura 42,5%; Año 2010: Población 40.1; Cobertura 48,8%; Año 2022: Población 46.2; Cobertura 62%.

Tabla 1 - Porcentaje de cobertura de cloaca por provincias sobre total de hogares

Provincia	Censos		
	2001	2010	2022
	Cloaca (%)	Cloaca (%)	Cloaca (%)
Buenos Aires	43,1	47,6	60,5
CABA	97,0	98,2	99,2
Catamarca	33,1	44,4	54,6
Chaco	20,9	26,4	34,3
Chubut	67,8	77,7	81,8
Córdoba	29,0	38,3	45,7
Corrientes	44,8	53,4	63,2
Entre Ríos	55,2	69,8	80,4
Formosa	22,8	31,5	42,5
Jujuy	48,8	60,8	68,9
La Pampa	45,2	59,0	67,6
La Rioja	39,4	51,1	62,4
Mendoza	56,6	63,1	69,2
Misiones	12,3	18,6	26,6
Neuquén	64,7	72,1	77,0
Río Negro	52,1	61,1	68,8
Salta	53,1	62,1	72,3
San Juan	21,5	29,5	48,0
San Luis	45,5	60,2	75,2
Santa Cruz	71,0	92,4	80,9
Santa Fe	42,8	50,3	61,4
Santiago del Estero	16,2	21,9	28,7
Tierra del Fuego	89,9	89,3	91,6
Tucumán	39,9	46,5	54,8

Fuente: Elaboración propia en base a los censos del INDEC

A pesar del carácter monopólico que existe en la prestación de los servicios de agua y saneamiento, en Argentina existe una enorme descentralización y fragmentación desde 1980, que según última estimación en el año 2015 son 1.828 prestadores en las zonas urbanas. De ellos, 23 son provinciales (una de ellas se refiere exclusivamente a AySA S.A., que cubre dos jurisdicciones, la ciudad de Buenos Aires y municipios de la Provincia de Buenos Aires). De ese número, 15 son empresas públicas, 4 son concesionarios privados, estos son Corrientes, Córdoba –únicamente para el servicio de agua potable-, Misiones y Santiago del Estero. Las restantes 4 la titularidad es exclusivamente municipal, son ejemplos Entre Ríos, Chubut, La Pampa y San Luis. Sin embargo, en lo que refiere a cantidad de población abastecida, las primeras 15 empresas estatales provinciales y regional sirven alrededor del 60 % de la población del país; las empresas privadas provinciales atienden a cerca del 10 % de la población y los operadores municipales que representan más del 98 % del número total de operadores, sólo comprenden el 30% ya que se encuentran en las localidades más pequeñas (Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda, 2017).

El presente trabajo considera al AMBA como el área que ocupa un territorio aproximado de 3.833 km², que está conformada por la Ciudad de Buenos Aires y 40 municipios de la provincia de Buenos Aires que concentran el 35% de la población nacional, siendo el área geográfica más poblada del país y el núcleo central histórico del sistema urbano argentino. En esta área existen tres formas de prestación de los servicios: en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA, en adelante) y 26 municipios del conurbano bonaerense el prestador es AySA²; en municipios del conurbano bonaerense el prestador es Aguas Bonaerense S.A. (ABSA, en adelante)³; y el resto el prestador es municipal⁴.

Los entes reguladores son los responsables de regular a todos estos operadores dentro del ámbito de una provincia o territorio, incluidos los operadores municipales y las cooperativas. Estos organismos suelen ser autárquicos, y su financiamiento se efectúa mediante distintas fuentes que incluyen un porcentaje de las tarifas y asignaciones del presupuesto público. En materia de control en el ámbito de prestación de AySA S.A., la Agencia de Planificación (APLA) es la encargada de controlar la elaboración de los planes y proyectos, el desarrollo de las obras, la elaboración de los estudios de impacto ambiental y el establecimiento de las metas de calidad. Por su parte, la función del Ente Regulador de Agua y Saneamiento (ERAS) es la de fiscalizar la calidad del servicio, verificar el cumplimiento del contrato de concesión y proteger los intereses de los usuarios.

² Incluye a Escobar, Pilar, Tigre, Malvinas Argentinas, José C. Paz, San Fernando, San Isidro, Vicente López, San Martín, San Miguel, Moreno, Tres de Febrero, Hurlingham, Ituzaingó, Morón, Merlo, La Matanza, Ezeiza, Esteban Echeverría, Presidente Perón, Almirante Brown, Lomas de Zamora, Lanús, Quilmes, Avellaneda y Florencio Varela.

³ Incluye a Campana, General Rodríguez, Marcos Paz, Las Heras, Cañuelas, San Vicente, La Plata, Ensenada y Berisso.

⁴ Incluye Zárate, Exaltación de la Cruz, Luján, Brandsen y Berazategui

Teniendo en consideración el tratamiento de los líquidos cloacales a los vuelcos receptores, hay que mencionar que existen discrepancias según las fuentes de bibliografías consultadas. En base a estadísticas más actualizadas sobre procesos de depuración de los líquidos cloacales (Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento, 2022), con un relevamiento de 376 plantas a nivel país, el porcentaje de tratamiento de los efluentes cloacales a nivel país es del 27.6%. Se concluye, además, que 6 de cada 10 tipos de tratamientos pertenecen a las lagunas, mientras que el 36.6% son plantas de tratamiento primario y secundario, ya sea barros activados o lechos percoladores. Dentro de este último porcentaje, aproximadamente el 50% se encuentran en buen estado, el 20% entre regular y malo en las primeras y en el segundo un 29%, el porcentaje restante pertenece a fuera de servicio o en construcción.

4. SISTEMA CENTRALIZADO

Desde el inicio del saneamiento en el AMBA a finales del siglo XIX hasta prácticamente el inicio de este siglo XXI donde se han desarrollado y ejecutado gran cantidad de plantas depuradoras con vuelcos independiente, la idea que primó fue la de volcar todo el sistema a un único punto de vuelco para que, luego de su correspondiente tratamiento, dar vuelco al cuerpo receptor.

Para poder llevar adelante un sistema centralizado y expandir el porcentaje de cobertura cloacal es preciso la construcción de colectores de grandes diámetros, a las cuales, las más importantes en dimensión son llamadas cloacas máximas, como así también de estaciones de bombeo, que, dependiendo de la topografía del lugar y de la magnitud, terminan en estar interconectadas unas con otras. Este sistema de colectores y estaciones de bombeo interconectadas será tratado en el presente capítulo como sistema centralizado mientras que las plantas depuradoras con vuelcos independientes, será estudio para los casos de sistemas descentralizados. Cabe destacar, que esta distribución es propia del AMBA, mientras que en otras ciudades con menor cantidad de habitantes o densidad de población, podría ser el caso de que exista un único punto de vuelco y el mismo sea a través de una planta de tratamiento secundario o hasta terciario, por lo que es fundamental comprender el sistema de una manera integral y estratégica.

4.1. Colectores de grandes diámetros

En el AMBA existen tres cloacas máximas y una más reciente denominada Sistema Riachuelo que se fueron construyendo a medida que se incrementaba la población para poder brindar el servicio cloacal. En este capítulo se describirán los detalles que hicieron posible la ejecución de cada una de ellas.

4.1.1. Primera Cloaca Máxima o Antigua

Se denomina primera cloaca máxima de la ciudad de Buenos Aires, al conducto principal de desagüe cloacal del ingeniero hidráulico inglés John Frederick Bateman que comprenden la parte céntrica de la ciudad, la zona del puerto Madero y la barriada de Boca Barracas, saneando una extensión de 3.000 hectáreas⁵. El nombre "Radio Antiguo" surge más adelante en el año 1908 por el ingeniero argentino don Agustín González con el fin de contrarrestar la superficie de lo que él proyectaba denominándolo "Radio Nuevo".

Las obras proyectadas por Bateman están calculadas para una dotación de 182 litros de agua per cápita, para una población de 500.000 habitantes. En dos tercios del Radio Antiguo, el desagüe se efectúa por canalizaciones del sistema unitario, por acción gravitatoria, las colectoras reciben así las aguas servidas y las de lluvia. La capacidad fue proporcionada para conducir las aguas servidas más el pequeño aporte de una lluvia de la intensidad de 38mm por hora, caída en la zona donde el desagüe es unitario.

La longitud total de la primera cloaca máxima es de 32.238m de los cuales, 8.278m corresponden al tramo metropolitano, 120m al sifón del Riachuelo y 23.840m al tramo provincial y está construida por un conducto de hormigón simple de sección circular constante de 2.286m de diámetro interno. La construcción inició en mayo de 1874, con una habilitación parcial en 1889. Al inaugurarse las obras de desagüe, en lo relativo a la cloaca máxima, sólo faltaba terminar el sifón del riachuelo librando el servicio por un sifón provisorio en el año 1893. Las redes secundarias cloacales (RSC, en adelante) quedaron terminadas en el año 1905. Pero el crecimiento de la ciudad había superado los cálculos más optimistas y además el consumo de agua se elevaba a un promedio de 200 litros por persona por día con máximos de 250 litros.

Esta gran longitud del emisario principal por la necesidad de alejar las aguas servidas antes de descargarlas al río a la altura de Berazategui, generó la obligación de estudiar un sistema de bombeo. La decisión llegó en el año 1874 con el proyecto del Establecimiento Wilde, conocido en ese entonces como "Puente Chico" dejando la impronta en la extensión del territorio de la ciudad, al solicitarse en 1885 al Ferrocarril a la Ensenada la creación de la Estación Wilde, para facilitar el transporte de materiales para la construcción (Comisión Directiva de las Obras de la Salubridad de la Capital, 1885: 539). La separación con las aguas de lluvia se produce en ciertas cámaras llamadas reguladoras, que sólo permite el pase del caudal de aguas servidas, con más una pequeña proporción de agua llovediza. El exceso sobre dicho caudal cae a los conductos de tormenta que desaguan en el río frente a la ciudad (Revista OSN mayo 1939 N°23).

⁵ La Capital Federal posee una superficie de 20.000 hectáreas (<https://www.argentina.gob.ar/caba>)

Las bombas dentro del Establecimiento Wilde elevaban el líquido 14 metros de altura hasta la cámara de carga para poder ser enviados al Río de La Plata por efecto de la gravedad, pasando por las localidades de Bernal, Quilmes, Ezpeleta y llega a Berazategui para descargar en el estuario del Río de La Plata. Algunas de las particularidades a mencionar del entonces funcionamiento de este Establecimiento pueden ser que entre 1883 y 1886 se edificó la Carbonera, un depósito del carbón de coque utilizado para las calderas que luego sería reemplazado por sistemas más modernos eléctricos; en ese entonces existía la Caballeriza, ya que la movilidad principal dependía de los caballos y que se construyó la llamado Casa de Empleados, de dos pisos y un subsuelo, que funcionaba como residencia del jefe de la Planta.

4.1.2. Segunda Cloaca Máxima o Radio Nuevo

En 1907 emergió una Segunda Cloaca Máxima como huella del crecimiento de la ciudad pasando del modelo unitario al modelo de saneamiento separado en su totalidad, donde sólo transporta efluentes cloacales. Esta nueva cloaca máxima fue diseñada por el ingeniero González con el proyecto de Saneamiento del Radio Nuevo de la Capital Federal y de ampliación y mejoras del Radio Antiguo. En 1908 la población dentro del radio ya era de 722.500 habitantes y el consumo de agua registraba máximos de 294 litros per cápita.

La misma está construida por un conducto de hierro fundido de sección circular constante de 3m de diámetro interno y una longitud de 46.090 m desde su inicio en la esquina de Albarellos y Avenida General Paz en Villa Devoto, hasta su desembocadura en el Río de la Plata, frente a la localidad de Berazategui. Su capacidad calculada es para una población de 3 millones de personas, habilitándose en agosto de 1919 en su totalidad ya que el sifón del Río Matanza Riachuelo había finalizado en mayo de dicho año.

Cabe remarcar que en la memoria que había elevado el ingeniero Gonzalez en agosto de 1908 sobre el objeto de generar un conducto de enlace entre las dos cloacas máximas era persiguiendo dos fines: por un lado, aliviar a la cloaca antigua y, por otro, hacer posible la reparación de ésta en diversos puntos al Sud del Riachuelo, en donde se encontraba en pésimo estado desde hace muchos años. Este último hecho, también fue presentado en el proyecto del Ingeniero Paitoví donde se encaró definitivamente la solución integral del problema, previo a dos reparaciones importantes en magnitud, desviando su vuelco a la segunda provisoriamente.

Para destacar de la obra que ya cuenta con más de 100 años, es lo ejecutado en la desembocadura en el río donde su sección interior es circular en todo su recorrido de 2.25m de radio de hormigón armado calculada para dar paso a un caudal de 14 m³/seg. Su longitud total es de 1.400 metros de los cuales 350 m corresponden a la parte terrestre ejecutada en zanja abierta y los 1.050 m a la parte subfluvial, donde los últimos 900 m se realizó con una metodología constructiva ingenieril de vanguardia para la época. Los tramos de 4.50 m

de largo fueron ejecutado mediante conductos flotantes contruidos sobre un varadero en la playa, los cuales, lanzados al agua, eran remolcados a flote hasta el lugar de su hundimiento, que se efectuaba en un canal previamente dragado. En el fondo se los asentaba sobre cimientos especiales y se los unía con el conducto precedentemente colocado, siendo estas operaciones efectuadas bajo el agua, por medio de buzos (Revista OSN junio 1938 AÑO II N°12). La cámara de compuerta o de enlace, de donde arranca el conducto de la ribera, reúne las dos cloacas máximas de la ciudad: la primera y la segunda, las cuales descargan conjuntamente por el nuevo conducto, eliminando la desembocadura primitiva, dado que su proximidad a la ribera presentaba inconvenientes a tan sólo 500 metros.

4.1.3. Tercera Cloaca Máxima

Las obras de ampliación del plan Paitoví del año 1923 para la ampliación de los servicios de agua y cloaca de la ciudad de Buenos Aires pretendía cubrir una población de 6.000.000 de habitantes con dotación de 500l/hab/día, cifra que se estimaba alcanzar en el año 1964. Sin embargo, su ejecución se fue dilatando con el correr de los años, recién se declararon iniciados los trabajos en enero de 1939 (Revista OSN enero 1942 AÑO VI N°55). En ese año, mediante la resolución del Honorable Directorio de Obras Sanitarias de la Nación (OSN, en adelante), se designó una comisión especial, para actualizar el proyecto, que no modificó la cantidad de población proyectada a abastecer, pero sí su dotación en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, pasando a 700 l/hab/día. En cuanto a la población de los pueblos de la provincia de Buenos Aires, fue estimada en 2.300.000 habitantes para el mismo año pero la dotación de agua en 500 l/hab/día (Revista OSN Julio 1942 AÑO VI N°61).

La obra principal está constituida por un conducto de hormigón simple que se construye en túnel, de sección circular constante de 3.5m de diámetro interno. La longitud total es de 14.340m, desaguando 10 m³/seg a una tapada entre los 5 y 12 m (Revista OSN marzo 1940 AÑO IV N°33).

La tercera cloaca máxima, está revestida de hormigón que al llegar por la Av. Sáenz, presenta un diámetro de 4 metros, cruza el límite de la Capital Federal determinado por el Riachuelo, mediante un sifón o túnel subfluvial de 160 metros de longitud que se asienta 21 metros debajo del pavimento de su calle de ribera y a 12,75 m debajo del fondo de la canalización navegable (Revista OSN Mayo 1942 AÑO VI N°59).

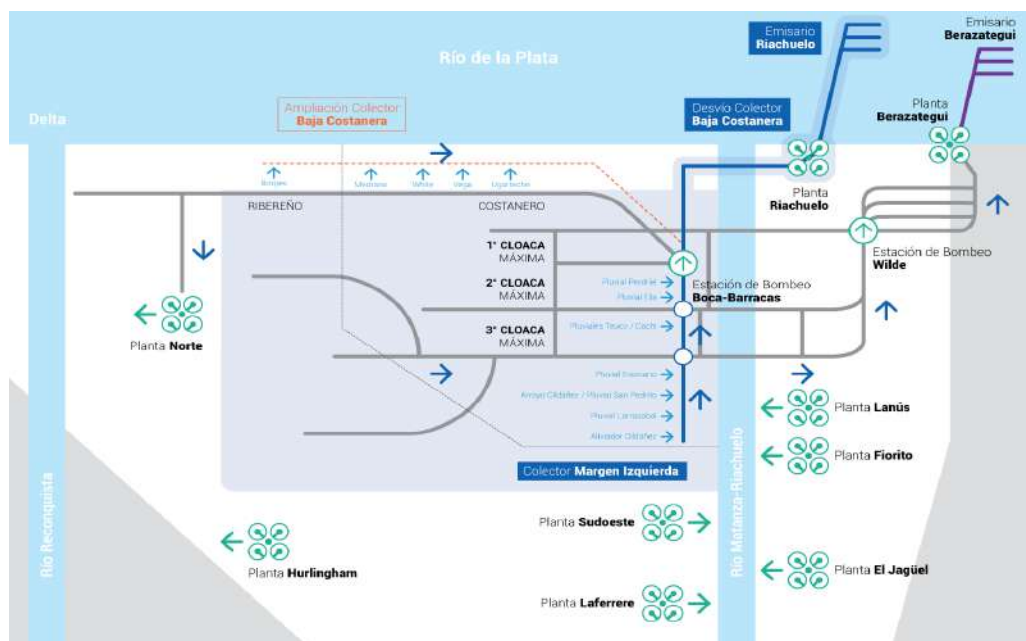
La habilitación de estas obras, que aconteció en 1949, tenía un carácter de urgencia, para evitar el funcionamiento recargado de las dos primeras cloacas máximas y permitir la ejecución de diversas ampliaciones de las redes de colectoras en los pueblos vecinos a la Capital Federal, que se encontraban detenidas por falta de capacidad de los conductos máximos.

Una nueva desembocadura del emisario cloacal al Río de La Plata se llevó adelante con la obra licitada en el año 1965 por OSN. La misma consistió en la construcción de un conducto subfluvial en Berazategui de 2.500m de longitud y de 5 m de diámetro interior, que sirvió para efectuar la descarga del líquido cloacal enviado desde la estación elevadora de Wilde por medio de las tres cloacas máximas mencionadas a las que se le sumó la cuarta. Esta última está constituida por una cañería de hormigón pretensado de 4 m de diámetro interno siendo su desarrollo de aprox. de 14.5km únicamente entre el trayecto de Wilde a Berazategui. En el extremo de los 2.5 km remata en una cámara de empalme que permitirá en el futuro su prolongación (hoy en día la empresa actual prestataria prevé la ejecución de una estación de bombeo a la salida y un emisario de 7.5 km, por lo que quedaría desafectado).

4.1.4. Sistema Riachuelo

El sistema Riachuelo es la primera gran ampliación del sistema troncal de cloacas que se realiza en el AMBA en más de 60 años, después de la inauguración de la tercera cloaca máxima a finales de la década del 40. Esta mega obra de infraestructura que va a permitir solucionar integralmente la capacidad de transporte de los desagües cloacales en el AMBA; mejorar la calidad del servicio a más de 4.3 millones de personas; incorporar a futuro 1.5 millones de habitantes a la red de cloacas y evitar parte de la contaminación del Riachuelo. La directora del Sistema Riachuelo, que se inició su puesta en servicio el 26 de Septiembre de 2023, es la ingeniera argentina Marcela Álvarez, puesto que ocupa desde sus inicios en el año 2014 hasta la actualidad.

Ilustración 2 - Obras del Sistema Riachuelo



Fuente: Web AySA, 2013

La obra está dividida en tres lotes que posibilitan que una parte importante de los efluentes cloacales del radio servido de la Ciudad de Buenos Aires y de parte del conurbano que eran transportados por el sistema troncal para ser tratados en la Planta de Pretratamiento Berazategui, se derivarán hacia esta nueva Planta formando parte de un sistema independiente.

Mega Colector: Está constituido por tres grandes obras, la primera es la denominada Colector Margen Izquierdo encargada de interceptar y transportar, cuando no llueva, los desagües cloacales que clandestinamente se encuentran en los aliviadores pluviales y arroyos de la Ciudad de Buenos Aires con vuelco al Riachuelo y enlazar parte de los caudales de la segunda y tercera cloaca máxima, lo que aportará flexibilidad operativa y mejorará su funcionamiento integral. Está constituido por dos tramos, el primero posee un diámetro de 800mm, con una profundidad que varía entre 14 a 17 m y una extensión de 1.6km, a través del método pipe jacking; el segundo tramo posee un diámetro 3200mm, con una profundidad que varía entre 17 a 24 m y una extensión de 9.5km construido a través de una tuneladora denominada Elisa en homenaje a Elisa Bachofen, la primera ingeniera de Argentina y de Latinoamérica en 1917. Este tramo llega hasta la EBC Boca Barracas ubicada en la Calle Benito Quinquela Martín entre las Calles Goncalvez Días y San Antonio en el Barrio de Barracas.

La segunda gran obra es el Desvío Colector Bajo Costanera encargada de transportar los líquidos que reciba del futuro Colector Margen Izquierda, la Ampliación Baja Costanera y

del actual Colector Baja Costanera. Inicia su recorrida en las inmediaciones del predio de la EBC Boca Barracas hasta la Planta ubicada en Dock Sud correspondiente al lote 2, posee un diámetro de 4500mm, con una profundidad que varía entre 24 a 34 m y una extensión de 5.2 km construido a través de una tuneladora denominada Valentina, en homenaje a la cosmonauta rusa Valentina Tereshkova, la primera mujer que viajó al espacio.

La tercera son las obras complementarias a través metodología constructiva de pipe jacking, totabilizan 10 las que tienen cada una de ellas la siguiente función:

Tabla 2 - Obras Complementarias Colector Margen Izquierdo

N° Obra	Longitud (km)	Diámetro (mm)	Intercepta (cuando no llueve)	Desafecta EBC
1	0,1	1500	Aliviador Arroyo Cildáñez	-
2	1,9	800	Pluvial Larrazabal.	Lugano I, II y IV
3	3,4	800 / 1100	Pluvial Cildáñez.	Cildáñez
4	3,1	800 / 1100	Pluvial Cildáñez y San Pedrito	Fátima y Soldati
5	0,6	2000	Pluvial Erezcano	-
6	1.7	800 / 2000	Pluvial Teuco y Cachi	-
7	0.9	800	Pluvial Elía	La Quema
8	0.01	800	Pluvial Perdriel	
9	0.8	1100	-	Boca Barracas
10	0.3	800	-	Isla Maciel (en estudio se pueden sumar más)

Fuente: Elaboración propia en base a los datos Web AySA, 2013

Cabe destacar que la obra complementaria N°6 además deriva parte del caudal de la Segunda Cloaca Máxima y la N°5 que deriva parte del caudal de la Tercera Cloaca Máxima para derivarlos al Colector Margen Izquierda tramo 2 y continuar su recorrido.

Planta de pretratamiento: Está ubicado en el Puerto de Dock Sud y, al igual que la etapa anterior, comprende tres grandes obras, la primera es una Estación Elevadora de Entrada que permitirá que los líquidos cloacales conducidos por el Desvío Colector Baja Costanera que tiene una profundidad de 37.47m sean elevados a una cota tal que permita que todo el

proceso siguiente se desarrolle mediante un escurrimiento por gravedad. La segunda gran obra es la planta propiamente dicha capaz de realizar un pretratamiento de 27 m³/seg, compuesta por una remoción de sólidos suspendidos o flotantes mayores a 50 mm en las rejillas gruesas y hasta 6 mm en los tamices finos y una separación de arenas y flotantes. La tercera gran obra es una Estación de Bombeo de Salida que está equipada con 8 electrobombas de eje vertical en cámara seca de 4,5 m³/seg. cada una y una altura manométrica total de 19 m que dará la altura necesaria para posibilitar su escurrimiento por el emisario subfluvial y su difusión en las aguas del cuerpo receptor.

Emisario Riachuelo: Está constituido por dos grandes obras, la primera es el transporte que posee un diámetro 4300mm con una extensión de 12km construido a través de una tuneladora denominada Beatriz en homenaje a Beatriz Mendoza, la mujer que encabezó la causa, junto a otros vecinos, contra el Estado Nacional, la Provincia, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y 44 empresas reclamando el saneamiento de la cuenca Matanza-Riachuelo. La segunda gran obra es la etapa de difusión, que se ubica a lo largo de los últimos 1,5 km del tramo de Transporte donde se colocaron, en la parte superior del túnel, 34 difusores que permitirán lograr una mezcla de los líquidos pretratado con el agua del Río de la Plata para completar el tratamiento por dilución. Los mismos fueron ejecutados desde dentro del túnel mediante el empuje de caños de acero de 63 cm de diámetro y una longitud aproximada de 28 m hasta aflorar sobre el lecho del río, para luego instalar las rosetas con 6 puertos cada una que posibilitarán la adecuada dilución del efluente.

La elección del sistema integral de funcionamiento fue evaluada por años en AySA, seleccionándose la desarrollada entre las distintas opciones, que se estudiará en detalle en el Capítulo 7.

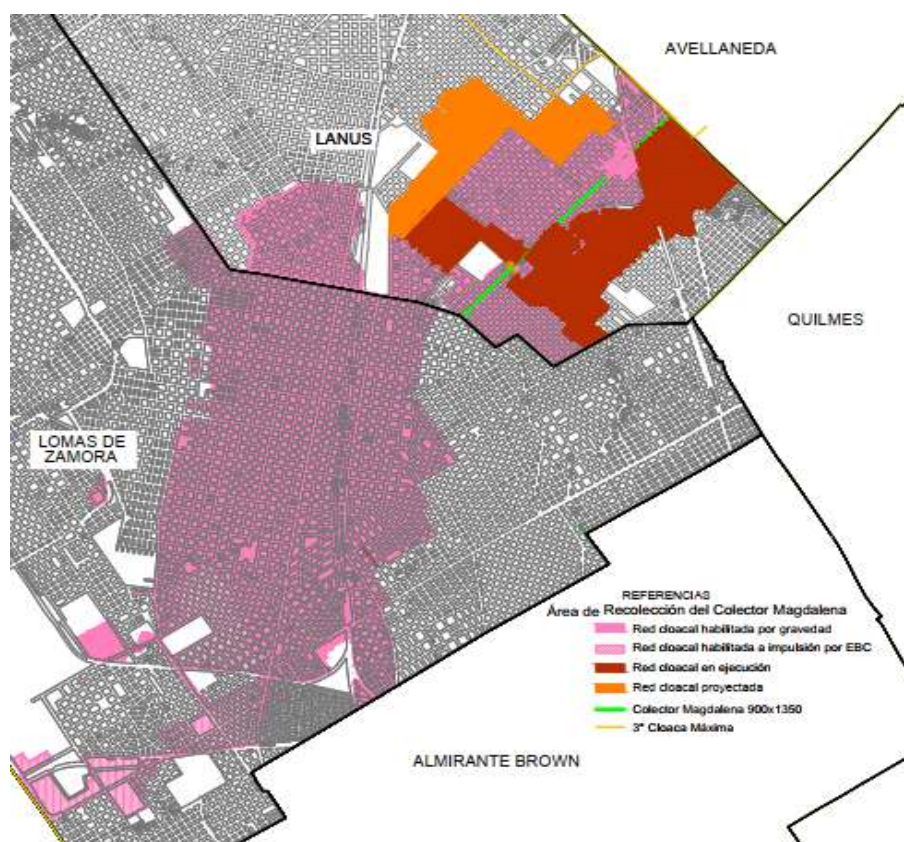
4.1.5. Caso de estudio: Colector Magdalena

En lo que respecta a los cinco municipios de estudio del sur del Gran Buenos Aires, Avellaneda, Lanús, Quilmes, Almirante Brown y Lomas de Zamora, uno de los colectores más grandes en cuanto a su dimensión que funcionan a gravedad, tomando como excepción los ya enumerados, es el Colector Magdalena. Es un conducto ovoidal de 900 x 1350mm que recibe vuelco de los municipios de Lomas de Zamora y Lanús, para trasladarlo a la Tercera Cloaca Máxima. El mismo fue inaugurado en marzo de 1951 (Planos Conforme a Obra AySA), iniciando el recorrido en la intersección de la Av. Uriarte (límite entre los partidos de Lanús y Lomas de Zamora) y Carlos María de Alvear (en Lomas de Zamora) o Caferata (en Lanús), para luego cruzar las vías del Ferrocarril Roca donde cambia el nombre a Av. Malabia, con un recorrido de 2.1km y finalmente continuar por la calle Magdalena 4 km hasta empalmar con la máxima.

A su vez, partiendo de los análisis detallados de los planos conforme a obra existentes cuya numeración es del N° 7499 a 7503, que contempla la ubicación de las 23 bocas de registro

que conforman el colector y sobre la distribución de las cañerías existente de redes cloacales de AySA con los planes directores de la empresa es posible esquematizar y asociar un área que vuelca sus líquidos a gravedad al Colector Magdalena, distribuyéndolo por colores según el estado actual de la obra en habilitada y por consecuencia en funcionamiento, obras en ejecución y obras a ejecutar.

Ilustración 3 - Área de recolección Colector Magdalena - año dic-2022



Fuente: Elaboración propia en base a los Planes Directores de AySA

4.2. Estación de Bombeo Cloacal interconectadas

Una estación de bombeo cloacal consta de una o varias bombas con sus correspondientes pozos de bombeo, tuberías de succión y de descarga cuya finalidad es la de proporcionar al líquido, la energía suficiente para poder ser transportado mediante un conducto a presión, desde un punto de menor cota a uno de mayor cota. Por cuestiones topográficas y en base al punto de descarga del líquido cloacal, una EBC puede estar conectada a otra, ya sea ingresando su impulsión directamente o más comúnmente volcando a una red cloacal a gravedad que luego finaliza su recorrido en esta nueva EBC, por lo que es necesario contemplar como un funcionamiento integral dichas redes cloacales en los que la

coordinación del automatismo relativo a la parada de las mismas pasa a tener un papel fundamental.

En lo que respecta a los cinco municipios de estudio del sur del Gran Buenos Aires, existen tres sistemas en los que los líquidos provenientes de una EBC vuelcan a otra. Las que reciben los caudales de otras son, en sentido descendente de importancia de magnitud de las instalaciones de equipos: ZS37 Avellaneda Este; ZS90 Ramal Avellaneda y ZS13 Alberdi. Se estudiará el primero de estos como caso de estudio.

4.2.1. Caso de estudio: EBC ZS37 Avellaneda Este

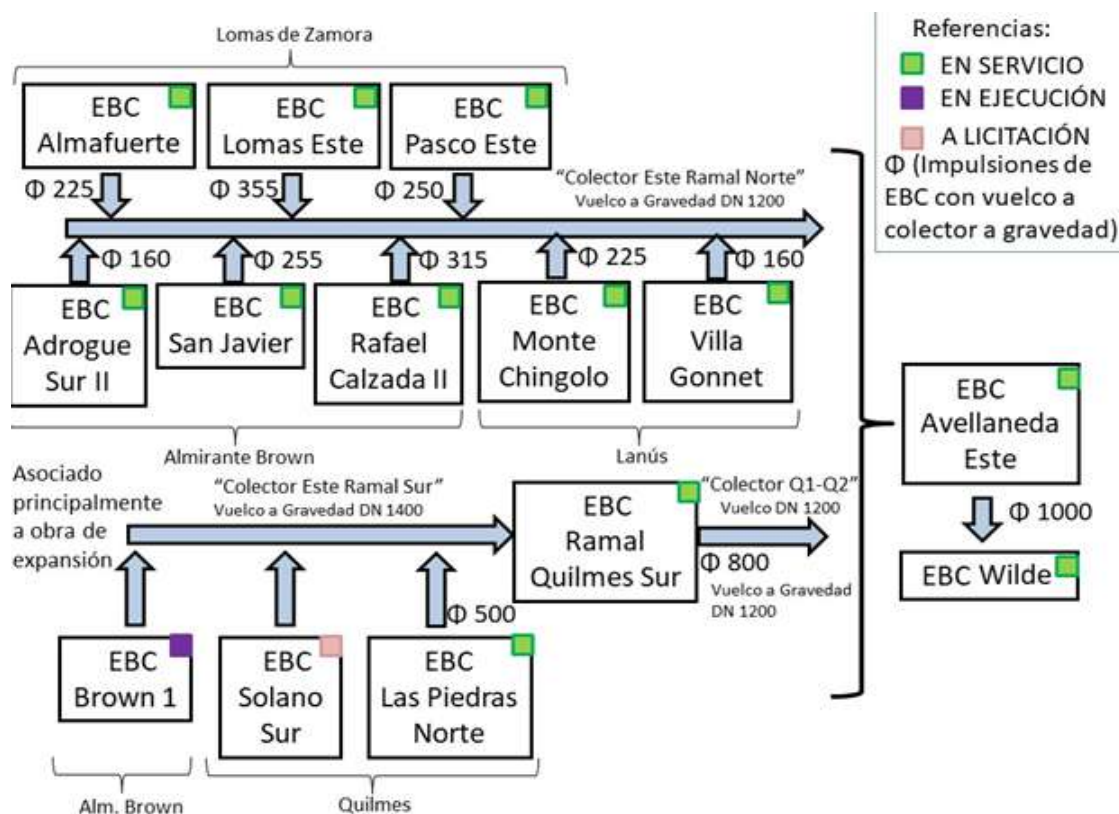
La estación de bombeo cloacal denominada “Avellaneda Este” es una de las 181 (Web AySA, 2013) que posee la cobertura correspondiente a la empresa AySA, está localizada en la calle Coronel Lynch -calle que justamente divide los municipios de Avellaneda y Quilmes- perteneciente específicamente a la localidad de Wilde, partido de Avellaneda, entre Av. Crisólogo Larralde y General Arredondo.

Dos colectores a gravedad son los que ingresan a la misma y, una vez elevado el nivel del líquido cloacal, sale una impulsión de diámetro nominal (DN, en adelante) 1000 mm que llega directamente al Establecimiento Wilde. Los tramos de colectores poseen la siguiente denominación:

- Colector Q1-Q2 y Colector Este Ramal Sur: Es un colector de material Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV, en adelante) que llega a tener un DN máximo de 1400 mm construido en la década del 2010, recibe líquido cloacal de parte de los municipios de Almirante Brown y Quilmes. Dicho colector culmina en una EBC denominada ZS 65 Ramal Quilmes Sur, localizada en la calle 887 entre calle 807 y 808. De allí una impulsión de DN 800 mm de PRFV vuelca en un colector a gravedad que aumenta su diámetro hasta DN 1200 construido a comienzos del siglo, denominada Q1-Q2 que culmina en la EBC estudiada como caso de estudio.
- Colector Este Ramal Norte: Es un colector de material PRFV de DN 1200 mm construido a finales de la década del 2000, recibe líquido cloacal de parte de los municipios de Almirante Brown, Lomas de Zamora, Lanús y en menor medida Quilmes y Avellaneda. Dicho colector culmina en la EBC estudiada como caso de estudio.

El funcionamiento general del sistema de EBC interconectadas con la EBC ZS 37 Avellaneda Este con la totalidad de todos los colectores que desembocan al Colector Este Ramal Norte; Colector Este Ramal Sur y Q1-Q2 se aprecia a través de la siguiente imagen:

Ilustración 4 - EBC interconectadas con vuelco en la EBC Avellaneda Este



Fuente: Elaboración propia

En otras palabras, las redes secundarias cloacales que vuelcan, por ejemplo, a la EBC Las Piedras Norte⁶ son elevadas mediante bombas. En segundo término, el líquido cloacal es elevado por segunda vez en la ZS 65 EBC Ramal Quilmes Sur. En tercer término, es elevado por tercera vez en la EBC de estudio, ZS 37 Avellaneda Este. Finalmente, su recorrido continúa hasta el Establecimiento Wilde donde es elevado por cuarta vez, generando un gasto energético muy importante para la empresa prestataria del servicio. Esto es consecuencia de la distancia seleccionada en base al punto de vuelco y de los niveles topográficos del terreno.

El área de cobertura total de la EBC de referencia estará plasmada en los planos que se anexará en el capítulo 6 que tratan respecto al estado actual (y futuro), pero para dar cuenta del territorio que ocupa este sistema de EBC interconectadas en la actualidad se puede apreciar en los porcentajes que ocupan en cada uno de los territorios.

⁶ Las obras de expansión SC 450 "Red Secundaria Cloacal Quilmes (RSC, en adelante) Sur" y SC 451 "RSC Las Piedras Norte".

Tabla 3 - Porcentaje de superficie con vuelco a la EBC ZS37 por municipio a Dic 2022

Municipio	% que vuelca de superficie a la EBC ZS37
Almirante Brown	18,96
Avellaneda	0,78
Lanús	4,87
Lomas de Zamora	9,65
Quilmes	8,42

Fuente: Elaboración propia

En este cuarto capítulo se trató el sistema centralizado, con el detalle del proyecto y ejecución de las tres cloacas máximas, el actual Sistema Riachuelo y las estaciones de bombeo cloacal interconectadas que fueron concretándose según la demanda de la población que creció de manera exponencial en el AMBA. Se trabajó con casos de estudio que se encuentran dentro de los cinco municipios ubicados al sur de la Ciudad de Buenos Aires, con el Colector Magdalena como red cloacal que funciona a gravedad transportando líquido cloacal de gran diámetro y la estación de bombeo denominada Avellaneda Este como sistema interconectado. El próximo capítulo hará lo propio con la explicación y los casos existentes de sistemas descentralizados.

5. SISTEMA DESCENTRALIZADO

El tratamiento descentralizado es simplemente la práctica de ubicar plantas de tratamiento de efluentes cloacales más cercano al sitio de demanda, siendo una alternativa a nivel mundial mucho más flexible y sostenible con respecto a las grandes plantas de tratamiento que requieren de infraestructuras mucho más costosas.

Si bien las ventajas del tratamiento descentralizado han sido reconocidas durante mucho tiempo, los desafíos tecnológicos y logísticos habían limitado su aplicación, pero en la actualidad es un sistema cada vez más utilizado a nivel mundial. A fin de citar un ejemplo que marcó un punto de inflexión en una de las economías más grandes del mundo es el caso de la República Popular de China con su último plan quinquenal implementado en 2016 donde se solicita que el tratamiento de efluentes del 15% en 2017 pase al 70% en 2022 demostrando un enfoque de rápida acción que no permite la implementación de proyectos de gran infraestructura por los plazos de obra necesarios. Estas acciones sin

precedentes priorizan la solución de los problemas del medio ambiente y la calidad de vida con los ambiciosos objetivos de crecimiento verde y la restauración de ríos y lagos contaminados. De esta manera, en la provincia de Hubei, una región definida por sus cuerpos de agua, se está instalando 80 plantas de tratamiento de efluentes modulares en áreas de servicio de carreteras a 50 km de distancia, eliminando la necesidad de miles de kilómetros de red cloacal y con un nivel de salida del efluente tratado bajo normativa propia local.

Entre las ventajas del sistema de tratamiento descentralizado es posible mencionar:

- Bajos costos: Eliminación de una gran cantidad de espacio físico e infraestructura en obras civiles para el tratamiento. Al estar bastante automatizados, no requieren de gran cantidad de personal operando la planta.
- Eficiencia de los sistemas: La posibilidad que no cumplan los requerimientos de diseño son menos probables debido al menor grado de complejidad.
- Menor consumo de agua dulce para las instalaciones.
- Posibilidad de ser construidos gradualmente en base al caudal.
- Reutilización de las aguas residuales: Amplía las oportunidades de reutilización de efluentes y sólidos, el uso de agua tratada pasa a ser rentable. En lo que respecta a esta ventaja se verá en detalle en el capítulo 8 ya que el agua residual del mundo —el 80 % de la cual se vierte al medioambiente sin haber recibido un tratamiento adecuado— es un recurso valioso del que pueden recuperarse varios elementos, como agua limpia, energía y nutrientes (Banco Mundial, 2020).

Las alternativas posibles con este tipo de tratamiento en las plantas depuradoras para los sistemas considerados descentralizados a nivel mundial son dos, químicos o biológicos. Son empleados a posteriori del pretratamiento que consta de canales de rejillas y/o tamices y el paso por los desarenadores y desengrasadores y del tratamiento primario del agua residual, eficiente en la eliminación de los sólidos sedimentables.

Los resultados entre ambas alternativas son bastante similares en cuanto a los efectos, pero su mecanismo funcional es distinto. En el tratamiento químico, se requiere la introducción de cantidades importantes de reactivos, sistemas de dosificación y equipos de personal preparados, que periódicamente, o casi de forma continua, tiene que estar modificando las dosificaciones para un correcto rendimiento. En el proceso biológico, se convierte la materia orgánica disuelta y finalmente dividida en flóculos biológicos sedimentables y en sólidos orgánicos que se puedan eliminar en los barros de sedimentación / clarificador. Esta acción se logra gracias a la acción enzimática y metabólica de los microorganismos, que están en el agua residual. Este tipo de tratamiento tiene inercia suficiente para aceptar las modificaciones de carga, siendo vital las condiciones de los microorganismos e introducir un caudal constante y una carga orgánica

constante. Para los casos de tratamiento en plantas de desagües cloacales en general los procesos secundarios son siempre biológicos.

Cabe destacar sobre la cuestión jurídica en Argentina que existen dos proyectos de Ley sobre el sistema descentralizado, el primero de ellos es el denominado “Ley de Presupuestos Mínimos para la Gestión de los Sistemas de Tratamiento Descentralizado de Aguas Residuales Domésticas y Programa Nacional de Regularización”⁷ presentado a comienzos de 2021 cuyos principales objetivos son garantizar el acceso equitativo al saneamiento seguro, para una efectiva adaptación del Estado Argentino a los objetivos y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible; promover a los Sistemas de Tratamiento Descentralizados de Aguas Residuales Domésticas, en el marco de la planificación urbana, y según los presupuestos mínimos establecidos en esta ley, como métodos sostenibles y eficaces de saneamiento; garantizar el financiamiento de las inversiones que requiere la implementación de los Sistemas de Tratamiento Descentralizado (STD), así como su correcta operación, canalizando recursos del gobierno nacional para brindar asistencia a las familias con menos capacidad económica; Fomentar, mediante el apoyo financiero, la visibilidad, y la asistencia técnica, la realización e investigación de métodos innovadores en saneamiento y el de valorizar las aguas residuales tratadas, mediante técnicas de reúso sin riesgo para el ambiente ni la salud (Proyecto de Ley 6883-D-2020, Cámara de Diputados Argentina).

El segundo proyecto titulado “Política Nacional de Saneamiento Descentralizado y Gestión Integral Descentralizada de Aguas Residuales Domésticas”⁸ presentado a finales de 2021 cuyos principales objetivos son definir normas estándares de ubicación, diseño, construcción, operación, monitoreo y evaluación de los distintos Sistemas de Saneamiento Descentralizado de Aguas Residuales Domésticas (SSD); crear e implementar indicadores de seguimiento del porcentaje de población con acceso a SSD adecuados y equitativos; promover y gestionar ante provincias, municipios y/o entidades públicas y privadas que correspondan, el uso estandarizado de los SSD; impulsar la coordinación y complementariedad de las acciones que, respecto a la Gestión Descentralizada de Aguas Residuales Domésticas (GDARD), programan las provincias, municipios y otras entidades públicas y privadas; fomentar la investigación de métodos innovadores de saneamiento descentralizado y la de adecuar los distintos programas de acceso a la vivienda y créditos para la construcción con el propósito de construir viviendas e infraestructuras que apliquen los estándares definidos por esta ley. (Proyecto de Ley 4240-D-2021, Cámara de Diputados Argentina).

⁷ Ingresó bajo el expediente 6883-D-2020 con fecha 25-01-2021, publicada en trámite parlamentario N°201 girada a las comisiones de recursos naturales y conservación del ambiente humano, legislación general y presupuesto y hacienda.

⁸ Ingresó bajo el expediente 4240-D-2021 con fecha 25-10-2021, publicada en trámite parlamentario N°163 girada a las comisiones de recursos naturales y conservación del ambiente humano, obras públicas y presupuesto y hacienda.

En lo que respecta a casos prácticos en el ámbito de AMBA con la prestataria AySA se utiliza para delimitar cuencas con funcionamiento descentralizado el tipo de tratamiento biológico y dentro de ello, los dos métodos principales del proceso biológico aerobio, son el de barros activados (cultivos en suspensión) y lechos percoladores (cultivos fijos). Cabe mencionar que en el año 1941, con el proyecto del ingeniero argentino Enrique Butty por primera vez en la historia en el AMBA, se pensaba en un proyecto con cinco plantas⁹ de manera de descentralizar el sistema con plantas de tratamiento secundario. En la práctica se llevó a cabo recién en los principios de los setenta con la Planta Sudoeste, en los ochentas con la Planta El Jaguel y en los noventa con la Planta Norte.

5.1. Tratamiento secundario con tecnología de barros activados

El tratamiento de barros activados se compone de etapa de aereación y luego etapa de sedimentación o decantación de los barros para la separación de fases. La función de este último es separar los sólidos del líquido mezcla, convirtiéndose en el último paso en la producción de un efluente estable, bien clarificado, y con bajo contenido en DBO₅¹⁰ y sólidos suspendidos y, como tal, representa un punto crítico en la operación de un proceso de tratamiento.

La presencia en el líquido mezcla de gran cantidad de sólidos floculentos precisa prestar especial atención al proyecto de los tanques de sedimentación. Estos sólidos tienen un peso específico tan cercano al del agua que el aumento de la densidad y de la viscosidad que experimenta el agua en las épocas invernales, o a cambios en el funcionamiento del sedimentador primario, o capacidad de las bombas de recirculación, o vuelcos de vertidos industriales puede afectar negativamente a las propiedades de sedimentación.

Independientemente de la geometría del tanque, el sistema de extracción de barros deberá ser capaz de satisfacer dos condiciones operativas. Por un lado, deberá tener una capacidad suficientemente elevada como para que, cuando se desee funcionar con un caudal de recirculación de barros elevado, no se produzca una succión del líquido existente en la parte superior. Por otro lado, el mecanismo debe ser suficientemente robusto para poder transportar y extraer los barros muy densos que se pueden acumular en el tanque de sedimentación durante los períodos de rotura mecánica o de fallo en el suministro energético.

Los tanques más comúnmente empleados para la sedimentación secundaria en los barros activados son los circulares y rectangulares. Los tanques circulares se han construido con diámetros variables entre 3 y 60 m, aunque las dimensiones más comunes se hallan entre 10 y 40 m. Preferiblemente, el radio del tanque no debería exceder en cinco veces la

⁹ En la desembocadura del arroyo Cildáñez sobre la ribera del Riachuelo; en Aldo Bonzi con desagüe al río Matanza; en Berazategui con desagüe al Río de la Plata; en la confluencia del río Reconquista y el arroyo Morón y en San Fernando con desagüe al río Reconquista

¹⁰ Es la cantidad de oxígeno necesaria para que se produzca la oxidación bioquímica de la materia orgánica contenida en un líquido.

profundidad de agua en la periferia del tanque. Los tanques rectangulares deben estar dimensionados para conseguir una adecuada distribución del caudal de forma que las velocidades horizontales no resulten excesivas. Se recomienda que la longitud total del tanque no exceda de 10 a 15 veces su profundidad, pero en plantas de grandes dimensiones se han utilizado con éxito tanques de hasta 90 m de largo.

La profundidad del decantador debe ser la adecuada para las características de sedimentabilidad del barro a fin de asegurar el mantenimiento de un espesor suficiente para evitar la recirculación de barros no espesados, y almacenar temporalmente los sólidos que periódicamente son aplicados en exceso sobre la capacidad de transmisión de la suspensión dada.

5.1.1. Caso de estudio: Planta Depuradora Lanús

En lo que respecta al área de prestación del servicio de desagües cloacales de AySA, existen varias plantas depuradoras que utilizan el proceso de barros activados que se enumeran a continuación:

Tabla 4 - Plantas en AySA con sistema secundario de barros activados

Planta Depuradoras	Región (Municipio) AySA	Nº de Módulos	Inaugurada	Tratamiento	Población Beneficiada
			año	m3/día	
Lanús	Sudeste	-	2016	23.328	90.000
Fiorito	Sudoeste (Lomas de Zamora)	-	2017	77.760	270.000
Hurlingham	Oeste (Hurlingham)	Módulo II	2022	80.000	300.000
Norte	Norte (San Fernando)	Módulo I	1999	66.444	270.000
Norte	Norte (San Fernando)	Módulo II	2014	77.460	270.000
Norte	Norte (San Fernando)	Módulo III	En licitación		300.000
Sudoeste	Oeste (La Matanza)	Módulo II	2013	77.760	300.000

Fuente: Elaboración propia sobre la base de información de entrevistas en AySA

En lo que respecta a los cinco municipios de estudio del sur del Gran Buenos Aires, existen dos plantas depuradoras con tratamiento secundario distanciadas a menos de 2.5 km y en ambos casos descargan sus efluentes tratados al Río Matanza Riachuelo.

Las mismas corresponden a la Planta depuradora Lanús, localizada en la calle Olazabal 5640, inaugurada en el año 2016 que tiene una capacidad de tratamiento de 23.328 m³/día y que beneficia a 90.000 habitantes y a la Planta depuradora Fiorito, ubicada en la Camino de la Ribera Sur 80 en el municipio de Lomas de Zamora, inaugurada en el año 2017 que tiene una capacidad de tratamiento de 77.760 m³/día y que beneficia a 270.000 habitantes. (AySA, 2023). A continuación, se analiza cómo caso de estudio la Planta Depuradora Lanús.

El proceso de depuración inicia en una cámara de carga con capacidad de retención de 25 m³, lo que representa en tiempo de permanencia un minuto dentro de un caudal pico, pasa por una fosa de gruesos, que impiden el paso de los sólidos con un volumen inferior o igual a 50 mm, con limpieza periódica manual. Posteriormente, se encuentran las rejillas finas que retienen los sólidos de 20 mm con limpieza periódica automático, los sólidos removidos se transportan por cintas hacia las compactadoras. A partir de allí el líquido es elevado por bombas sumergibles de capacidad unitaria de 0.1 m³/s para pasar al pretratamiento de desarenado y desengrasado, donde en este último se estabiliza con cal para su disposición final en contenedores. A diferencia de otras plantas, como en el caso de Planta Norte y Planta Fiorito, donde sí existen sedimentadores primarios, esta planta cuenta con cuatro reactores orbitales, con una capacidad individual de 2.628 m³, que realizan el tratamiento biológico del efluente cloacal. Dentro de cada uno de los reactores el líquido es aireado permanentemente por medio de tres aireadores de flujo descendente, con una capacidad de oxigenación de 40 kg/h. A través de dos circuladores sumergibles se garantiza que el líquido permanezca siempre en movimiento para evitar cualquier riesgo de sedimentación dentro de los reactores. El efluente tratado es conducido a una cámara de mezcla y equirrepartición de caudales para asegurar que cada uno de los cinco clarificadores secundarios reciba el mismo caudal, donde existen barredores de fondo favoreciendo la recolección de los lodos en una tolva central para luego ser descargados en el sistema de drenaje. Una vez clarificado, el líquido es vertido en una canaleta perimetral cuya salida está conectada a las cañerías de descarga de la Planta a 600 metros del Río Matanza Riachuelo.

Desde que se puso en marcha el sistema cloacal en el sur del Gran Buenos Aires, hasta la habilitación de dicha planta depuradora, todo el sistema de transporte del sistema cloacal estaba pensado en un 100% en la forma centralizada.

5.2. Tratamiento secundario con tecnología de lechos percoladores

Los lechos bacterianos son un sistema de depuración biológica de aguas residuales utilizado como sistema de tratamiento secundario en el que la oxidación se produce al hacer circular, a través de un medio poroso, aire y agua residual. La circulación del aire se realiza de forma natural o forzada, generalmente a contra corriente del agua. El fundamento del proceso está basado en las acciones producidas por el cultivo o película biológica, en lugar de en suspensión como ocurre en los barros activados, para conseguir una descomposición aeróbica y oxidación de la materia orgánica, pasando a compuestos más estables. La película biológica está constituida principalmente por bacterias autótrofas (fondo) y heterótrofa (superficie), hongos (*Fusarium*), algas verdes y protozoos, también se encuentran en el interior del lecho, animales más evolucionados, como gusanos, larvas de insecto, caracoles y limacos.

Los lechos percoladores se componen de sistemas de distribución que están formados por dos o más brazos montados sobre un pivote central, que giran en un plano horizontal. Los brazos son huecos y cuentan con una serie de boquillas por las cuales se distribuye el agua residual sobre el medio filtrante. Los distribuidores se fabrican para lechos percoladores con diámetros de hasta 60 m. El espaciamiento de las boquillas es irregular para asegurar un mayor caudal por unidad de longitud en la periferia que en la zona central.

El medio filtrante debe estar compuesto por un material con una gran área superficial por unidad de volumen, económico, y que no se obstruya fácilmente. Hasta mediados de los años sesenta, el material más empleado era granito de alta calidad o escoria triturada. Debido a múltiples factores como su costo, la escasa superficie de poros y la facilidad de obstrucción por la biomasa, los materiales rocosos predominantes son las gravas de río o áridos (donde el 95 por 100 tenga un tamaño entre 75 y 100 mm) y también la utilización de medios filtrantes plásticos (estas láminas suelen tener una superficie corrugada para favorecer el crecimiento de la película biológica y para aumentar el tiempo de detención).

El agua residual se vierte de forma uniforme y continua para evitar atascos y paradas en la parte superior del medio poroso. La materia orgánica es el alimento que sustenta a estos organismos, y su eficiencia disminuye tanto por una sobrealimentación como por una alimentación deficiente o no equilibrada.

Los antecedentes de los lechos percoladores se encuentran entre los sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales más antiguos (Muñoz, 1995) y pueden establecerse su origen en un sistema de funcionamiento intermitente denominado lechos de contacto, que empezó a funcionar en Europa en el país de Inglaterra en 1893 y en América aconteció en Estados Unidos en 1891 con la construcción del primer lecho percolador con distribución hidráulica fija en Massachusetts. En 1940, el 60% de las plantas de tratamiento en Estados Unidos trabajaban con este tratamiento secundario (IAGUA, 2018). Entre las principales ventajas de los lechos percoladores habría que señalar su

reducido consumo de energía, su flexibilidad y eficacia en la eliminación de materia orgánica si se mantiene su funcionamiento bajo vigilancia y con un mantenimiento riguroso y que se obtiene un mayor rendimiento que el alcanzado por simplemente una sedimentación primaria, o por una depuración de tipo químico. A su vez, la sencillez de operación, la utilización de elementos muy estandarizados y fáciles de conseguir.

5.2.1. Caso de estudio: Planta Depuradora Sudoeste Módulo I

En lo que respecta al área de prestación del servicio de desagües cloacales de AySA, existen varias plantas depuradoras que utilizan el proceso de lechos percoladores que se enumeran a continuación:

Tabla 5 - Plantas en AySA con sistema secundario de lechos percoladores

Planta Depuradoras	Región AySA	Nº de Módulos	Inaugurada	Tratamiento	Pob. Beneficiada
			año	m3/día	
Escobar	Norte (Escobar)	-	Sin datos	6.480	18.000
Barrio Uno	Sudoeste (Ezeiza)	-	Sin datos	1.728	5.000
El Jagüel	Sudoeste (Esteban Echeverría)	Módulo II	2013	40.000	145.000
Sudoeste	Oeste (La Matanza)	Módulo I	1972	164.160	600.000

Fuente: Elaboración propia sobre la base de información de entrevistas en AySA

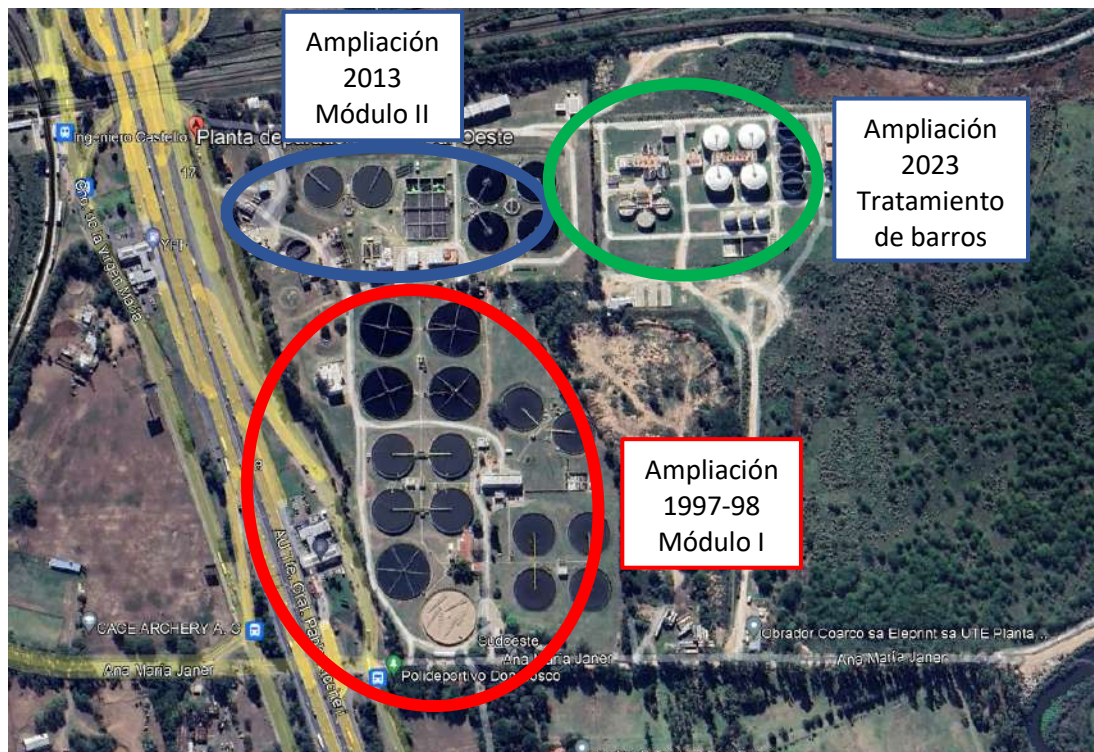
En lo que respecta a los cinco municipios de estudio del sur del Gran Buenos Aires, no existen plantas depuradoras que se encuentren bajo el sistema de lechos percoladores. Es por esto que se estudiará la Planta Depuradora Sudoeste Módulo I, siendo la única a nivel AySA que en la actualidad cuenta con un vaciadero para los camiones atmosféricos.

Remontando a su historia, Obras Sanitarias de la Nación licitó la planta original después de haber ensayado un piloto a escala industrial en el mismo terreno. Las obras iniciadas en la década de los setenta, con una primera inauguración en 1972 (siendo la primera planta descentralizada en construirse en el AMBA), contaban con una superficie de 14 hectáreas en la localidad de Aldo Bonzi, partido de La Matanza, al oeste de la Capital Federal. Las obras se concluyeron definitivamente en el año 1982 y se traspasaron en 1993 prácticamente sin operar, por falta de mantenimiento de las instalaciones. Esta planta fue remodelada y ampliada en los años 1997 y 1998, llegando a tratar los efluentes cloacales de 550.000 habitantes, con un caudal de 1.85 m³/seg. y un pico máximo de 2.9 m³/seg.

Desde que se puso en funcionamiento hasta el año 2023, tanto los lodos que se extraían de los sedimentadores como de los clarificadores, no recibieron tratamiento en la Planta y eran bombeados a través de un conducto de 5.7km de longitud a la zona de Mataderos, donde se descarga a un ramal de la Tercera Cloaca Máxima, por un conducto llamado “barroducto”. El líquido tratado de la planta era vertido una vez tratado al Río Matanza Riachuelo.

Esta Planta tuvo ampliaciones como ser la ejecución del denominado módulo II que cuenta con el sistema de tratamiento de barros activados inaugurada en el año 2013 que llevaron a tratar los efluentes cloacales en total de 850 mil habitantes de La Matanza y en el año 2023, se finalizó la planta de tratamiento de los barros producto del proceso de depuración de un caudal nominal de 3 m³/s, que posibilita generar su estabilidad, reducir la carga contaminante y obtener un mínimo contenido de humedad para minimizar el volumen a disponer. El método de tratamiento es de digestión anaeróbica tendiente a que los lodos resultantes tengan características de disposición final tipo B según clasificación de la EPA (Agencia de Protección Ambiental).

Ilustración 5 - Distribución de la depuración del líquido cloacal en Planta Sudoeste



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes temporales del Google Earth Pro

En este quinto capítulo se priorizan los beneficios de la implementación de los sistemas descentralizados de tratamiento de líquido cloacal, que empezó a desarrollarse en la década del 70 en el AMBA incrementándose su utilización en este siglo con la aparición de AySA S.A. El estudio se centró en los dos sistemas de tratamiento secundario más comunes a nivel mundial, barros activados y lechos percoladores. En ambos casos se estudió sus características en detalle, identificando sus diferencias y citando casos de estudio, en el primero la Planta Depuradora Lanús y en el segundo, el único que no corresponde al área de estudio de los cinco municipios de la zona sur, la Planta Depuradora Sudoeste módulo I. El próximo capítulo se conocerá el funcionamiento integral de los municipios mencionados.

6. COBERTURA CLOACAL EN ÁREA DE ESTUDIO

Este trabajo se centra en el sistema de funcionamiento y cobertura cloacal de cinco municipios localizados al sur del Gran Buenos Aires, Avellaneda, Lanús, Quilmes, Lomas de Zamora y Almirante Brown, que totabilizan 2.749.198 habitantes en base al último censo en Argentina, en el 2022.

Teniendo en cuenta los últimos tres censos, y haciendo una analogía con el nivel país desarrollado en el capítulo 3, se tiene en consideración estos municipios con sus respectivos porcentajes de cobertura, que se puede apreciar en el **Anexo 2**.

Tabla 6 - Porcentaje de cobertura cloacal de la población en municipios de estudio

Municipio	Censo 2001	Censo 2010	Censo 2022	
	% de cobertura	% de cobertura	% de cobertura	Población
Almirante Brown	17	16	41.4	585.852
Avellaneda	58	67.3	81.1	370.939
Lanús	28.6	37.8	57.5	462.051
Lomas de Zamora	27	30.9	47.8	694.330
Quilmes	55	59.4	78.9	636.026
PROMEDIO	37.1	42.3	61.3	

Fuente: Elaboración propia en base a los censos del INDEC

En estas áreas que pertenecen al AMBA, específicamente al sur de la Capital Federal, 4 de cada 10 personas aún no tienen posibilidad de acceso a los servicios de saneamiento a través de la red pública de AySA. Esta falta de servicios en general coincide con las zonas de menor nivel socio-económico y las ambientalmente más degradadas. Comprobamos así la existencia de un círculo vicioso de la pobreza donde quedan asociadas las condiciones de precariedad, contaminación y exclusión (Lentini y Brenner, 2012).

En consecuencia, con las redes cloacales existentes hasta diciembre de 2022, en cada uno de los cinco municipios mencionados, se asignan áreas que dan cuenta de sus puntos de vuelco. Para ello, se discriminan en aquellas zonas donde la cloaca vuelca a dichos puntos a través de la acción gravitatoria a las que se le asigna un hatch¹¹ sólido, mientras que las zonas que funcionan a través de EBC y por consiguiente de impulsiones se las ha asignado a través de un rayado. De esta manera en el **Anexo 3**, están las áreas distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 7 - Sistemas de funcionamiento en AySA

Sistema	Punto de vuelco	Área de cobertura	Color asignado
Centralizado	Cloaca Máxima	Primera	Verde (oscuro)
		Segunda	Celeste

¹¹ En autocad, se utiliza este término para rellenar áreas cerradas.

		Tercera	Rosa
	EBC interconectada	ZS 37 Avellaneda Este	Naranja
		ZS 90 Ramal Avellaneda y ZG 28 Magdalena	Gris
	Directo	Establecimiento Wilde	Amarillo
Descentralizado	Planta Depuradora Lanús		Azul
	Planta Depuradora Fiorito		Rojo

Fuente: Elaboración propia sobre las referencias del plano anexo 3

Tal como se aprecia en el anexo, la mayor parte del radio servido cloacal posee el sistema centralizado, y es por esto que se indagó sobre el pasado en cómo era el funcionamiento diez años atrás, tomando como base los planos de aquella época en los cinco municipios de Diciembre de 2012, adjuntado como **Anexo 4**. Con dicho aporte se aprecia que no existía sistema descentralizado ya que todas las redes existentes volcaban hacia las cloacas máximas y, consecuentemente, a la Planta Berazategui que hasta ese entonces no existía aún la planta de pretratamiento inaugurada en el año 2014. Recién inicia el sistema descentralizado con la inauguración de la Planta Lanús en 2016 con sus actuales redes secundarias y la Planta Fiorito en 2017 con muy pocas redes secundarias cloacales habilitadas a finales de 2022.

Teniendo en consideración los planes directores de expansión del servicio cloacal y los diagramas de relaciones de la empresa AySA, se determinó sobre la base del plano de Diciembre 2022, los puntos de vuelco de todas las futuras obras de expansión de los cinco municipios que llevarán a futuro a tener el 100% del servicio. De esta manera, se adjunta el **Anexo 5**. Cabe destacar que sobre los límites de los municipios de Lomas de Zamora y Almirante Brown, se han incorporado el color marrón para la Planta Depuradora El Jaguel, el violeta para la Planta Depuradora Sudoeste y verde claro para la Planta Depuradora Santa Catalina.

En conclusión, teniendo en cuenta los puntos de vuelco a futuro una vez llevada adelante toda la universalización, se realiza el plano del **Anexo 6** que diferencie en dos simples colores las superficies que dentro de estos cinco municipios vuelquen, ya sea a gravedad o mediante estaciones de bombeo, al sistema centralizado de Establecimiento Wilde – Planta de Pretratamiento Berazategui, indicado en color verde. Por otra parte, todo aquello que vuelque como sistema descentralizado a plantas depuradoras (Lanús, Fiorito, Sudoeste, Santa Catalina y El Jaguel) con color azul. En la siguiente tabla podrán observar los porcentajes de las tres fechas analizadas, 2012 / 2022 / universalidad del servicio,

discriminados por municipios según vuelquen al sistema centralizado o descentralizado anteriormente mencionado.

Tabla 8 - Porcentaje de superficie de sistema centralizado vs descentralizado por municipio según etapas

Municipios y años	Centralizado (%)	Descentralizado (%)
Almirante Brown		
2012	100	0
2022	100	0
Universal	88,6	13,4
Avellaneda		
2012	100	0
2022	100	0
Universal	100	0
Lanús		
2012	100	0
2022	86,8	13,2
Universal	86	14
Lomas de Zamora		
2012	100	0
2022	91,4	8,6
Universal	52,8	47,2
Quilmes		
2012	100	0
2022	100	0
Universal	100	0

Fuente: Elaboración propia calculando superficies sobre el plano anexo 6

En este sexto capítulo se centra en la generación de planos que permitan identificar y comprender el funcionamiento anterior, actual y futuro (trayendo a consideración el Plan

Director de Expansión y Mejoras y diagramas de relaciones) del sistema cloacal de los cinco municipios de estudio que poseen la particularidad de su gran densidad de población, contemplando el estudio de más de 2.5 millones de habitantes y, desde el punto de vista hidráulico, de recibir el líquido cloacal de gran parte de la Ciudad de Buenos Aires. En los mismos se comparan los sistemas vistos en los dos capítulos anteriores, centralizados vs descentralizados con los porcentajes que cada municipio tendrá en base a su superficie de cobertura. Tal como se aprecia, el sistema descentralizado empieza a tomar impulso, pero simplemente como una alternativa y no una concepción de sistema integral y estratégico. En el próximo capítulo se incluye un ejemplo real de su comparación desde el punto de vista económico, ambiental y social.

7. EVALUACIÓN SOCIAL, ECONÓMICA Y AMBIENTAL

En lo que respecta a la comparación entre los sistemas centralizados y descentralizados, en este capítulo se abordará el último estudio de gran envergadura existente de AySA donde genera distintas alternativas en pos de decidir por la opción social, económica y ambiental más favorable. El proyecto en cuestión fue justamente el Sistema Riachuelo anteriormente mencionado donde en el año 2009 se realizó un estudio por parte de las autoridades de gobierno nacional en las que tuvo injerencia la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de La Nación, AySA y ACUMAR con el fin de definir cómo será el funcionamiento del sistema con una mirada integral y estratégica. Previo a la definición conocida del proyecto cabe mencionar que se había desarrollado conceptualmente una serie de alternativas (en principio viables), con sus respectivos criterios de análisis resumiendo la temática técnica, económica, ambiental y social (Análisis de alternativas del proyecto Capítulo 8, 2010):

a. Tratamiento centralizado con una planta única de tratamiento en Berazategui y un emisario subfluvial único en este sitio. Esta es la alternativa original que se propuso para el concepto original de saneamiento de la ciudad de Buenos Aires. Si bien desde el punto de vista económico la ejecución de una única planta y emisario podría resultar levemente más económico, la concentración del proceso de tratamiento y disposición en un único sitio aguas abajo reduce sensiblemente la flexibilidad operativa del sistema, donde todas las externalidades negativas recaen en una única jurisdicción municipal. Del mismo modo, ante la necesidad de afrontar y dar respuesta a potenciales contingencias, el sistema único genera consecuencias ambientales mucho más severas y dificultosas de resolver. En consecuencia, esta alternativa podría desatar reacciones de rechazo por parte de potenciales particulares damnificados, la jurisdicción afectada, ONGs y público en general, descartándose por las desventajas ambientales, económicas y también por ser inviable por problemas legales, sociales y políticos.

b. Tratamiento centralizado con varios puntos de descarga al Río de la Plata. En un primer momento, desde el punto de vista teórico se plantea la descarga en varios puntos, en la realidad se restringe solo a tres, por la dificultad en conseguir sitios adicionales de tratamiento para plantas de dimensiones tan grandes a la orilla del Río de la Plata. Del análisis del tramo costero que comprende el sector existente entre la desembocadura del Río Matanza Riachuelo y el actual emisario de Berazategui, considerando la ubicación de la toma de la Planta potabilizadora General Belgrano, estaban el actual sitio de emplazamiento en Dock Sud, el sector recreativo de la costa de Quilmes y el sector de relleno sanitario del CEAMSE en Villa Domínico. Esta alternativa que considera la multiplicidad de plantas y emisarios de menor magnitud implica desde el punto de vista económico, el incremento del número de infraestructuras y personal para mantenimientos similares que haría perder la ventaja de escala de un número menor de estructuras de gran magnitud.

c. Alternativas de una nueva planta de pretratamiento antes de la descarga al Río de la Plata en Berazategui. Dentro del análisis de dicha alternativa también se estudió reducir las longitudes del emisario en relación a los mayores niveles de tratamiento. Se utilizó la modelación en el Río la Plata y el enfoque de la OMS, en base a los usos del agua del río (fuente de abastecimiento de agua para consumo humano con tratamiento convencional, usos recreativos con y sin contacto directo, preservación de la vida acuática, impacto sobre la navegación, etc.), y al impacto ambiental y social de la operación de los diferentes sistemas de tratamiento (producción de lodos, control de olores, cantidades de lodos generados en las diferentes alternativas, tráfico de camiones para remoción de lodos, espacio necesario para las plantas, etc.).

En esta investigación de la OMS en relación a eficiencia de niveles de tratamiento y diseño de emisarios respecto al riesgo sobre la salud humana (WHO, 2003) donde en base a la experiencia hace referencia al vuelco en el mar, se considera que estos resultados son aplicables a cuerpos receptores de gran magnitud y elevado poder de autodepuración como el Río de la Plata. En el mismo se indica que el tratamiento preliminar es suficiente antes de la descarga de aguas residuales a los cuerpos de gran capacidad de autodepuración, eliminándose las alternativas de tratamiento superiores, debiendo centrarse en lograr un diseño eficiente para el sistema de emisario a adoptar. El inconveniente de generar tratamientos más avanzados genera enormes costos adicionales en inversión, operación y mantenimiento, prácticamente inalcanzables, como así también cantidades muy grandes, en base a los caudales manejados, de lodos biológicos. No obstante, se reserva superficie suficiente en los sitios de emplazamiento de las Plantas Riachuelo y Berazategui, para ampliar las plantas de tratamiento y elevar el nivel del tratamiento según sea necesario.

La conclusión fue proyectar un tratamiento preliminar o pretratamiento con emisarios largos por ser considerada la solución científicamente sólida y económicamente más favorable. En consecuencia, se seleccionó esta alternativa que luego será contemplada por el Plan

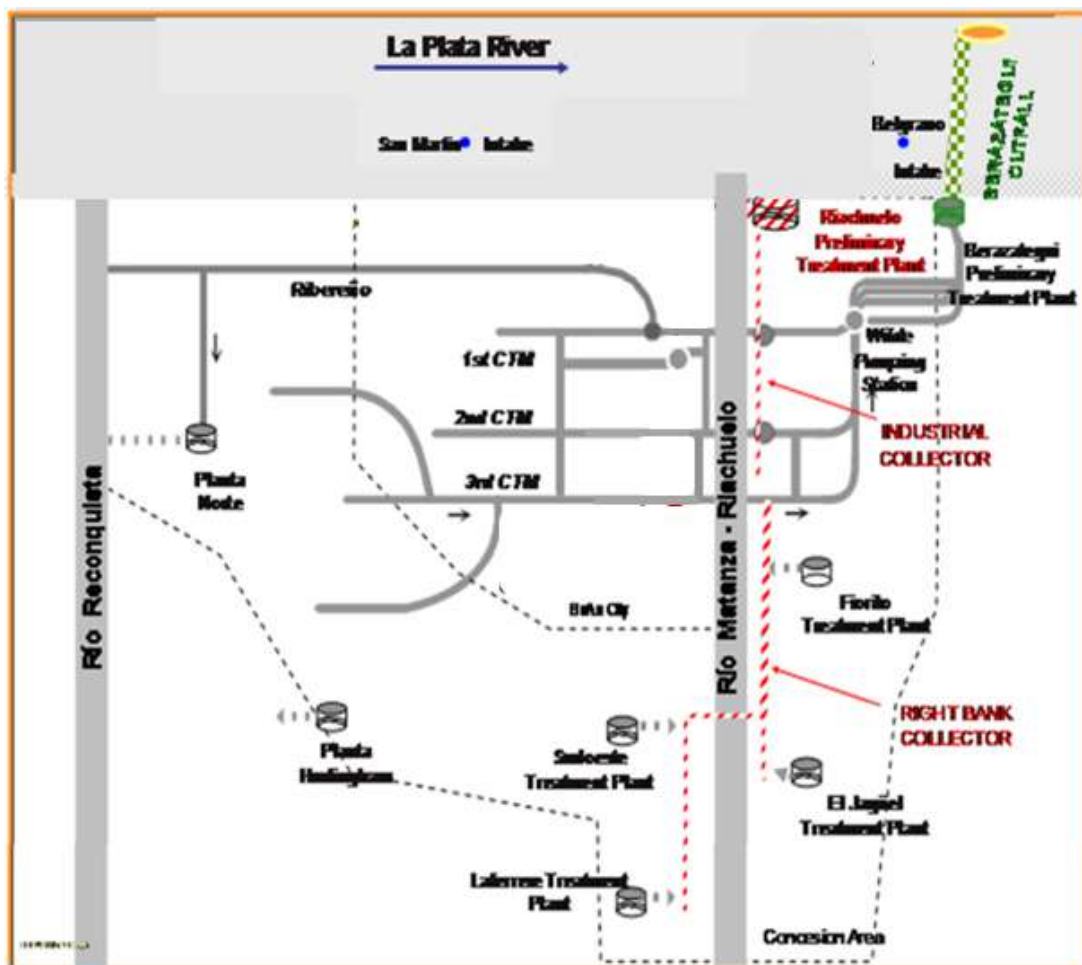
Director de AySA, el Sistema Riachuelo se proyectó con los tres lotes mencionados anteriormente, mientras que la Planta Berazategui con la ejecución de un nuevo emisario de 7.5km.

Una vez seleccionada la alternativa de dos plantas de pretratamiento con vuelco al Río de La Plata, el Directorio Ejecutivo del Banco Mundial aprobó el Proyecto de Desarrollo Sustentable para la Cuenca Matanza Riachuelo en agosto de 2009 a fin de apoyar al Saneamiento Ambiental Integral de la Cuenca Matanza Riachuelo. Entre esas negociaciones, se acordó que el Gobierno durante el 2010 lleve adelante un estudio de prefactibilidad para definir entre una alternativa centralizada y otra descentralizada con respecto a la margen derecha del río Matanza Riachuelo a través de un panel de expertos¹².

En lo que respecta al enfoque conceptual de la alternativa centralizada, se basó en la idea de un colector por la margen derecha del Río Matanza Riachuelo que genere descarga cero de las aguas residuales en el mismo. Esto supone la construcción de largos interceptores en la parte alta de la cuenca, conductos y estaciones de bombeo para recolectar y transportar hasta el 90% de las aguas servidas de origen domiciliario e industrial. El funcionamiento integral centralizado de esta alternativa financiado por el Banco Mundial, se puede apreciar en la siguiente imagen:

¹² Abarcó las siguientes áreas: modelos de calidad del agua, manejo de aguas residuales, estándares de calidad del agua, ingeniería hidráulica, análisis de los costos de inversión, evaluación económica y aspectos ambientales.

Ilustración 6 - Alternativa centralizada Margen Derecho



Fuente: Informe de panel de expertos sobre análisis de alternativas, 2011

En lo que respecta al ámbito social, tiene como desventaja la demora en poder brindar la cobertura del servicio hasta tanto se encuentre el sistema completo en funcionamiento. Desde el punto operativo y de mantenimiento, es más factible una alternativa descentralizada donde el futuro de la gestión se haga con bases a un esquema de plantas de tratamiento de aguas residuales pequeñas y distribuidas, ya que se otorga mayor flexibilidad operativa y en las inversiones para adaptarse al desarrollo incierto que tendrá la cuenca y la población en los próximos 50 años. Por último, desde el punto de vista ambiental la alternativa descentralizada guarda una correlación más estrecha con las tendencias y prácticas óptimas internacionales, en las que se cuestiona el paradigma convencional de utilizar el agua tan solo para transportar los contaminantes y los desechos mediante soluciones en el último eslabón de la cadena.

A su vez, esto llevó a un análisis económico comparativo entre dicha alternativa y el sistema de plantas depuradoras del panel de expertos a través de un proceso diseñado para estimar los costos de las obras y los equipos; apoyado en una voluminosa base de datos de costos unitarios que se actualiza con regularidad a partir de los resultados reales de nuevas licitaciones. Además, se analizaron los costos unitarios de proyectos similares encarados en Buenos Aires (como por ejemplo el Proyecto de Drenaje del Arroyo Maldonado). Los costos se estimaron y ajustaron teniendo en cuenta los índices de precios y la inflación local. Los elementos principales de trabajo correspondientes a cada alternativa se analizaron y ajustaron en el marco de la precisión y nivel de detalle de ingeniería contenidos en el estudio de prefactibilidad. En el análisis se utilizan como base los precios de julio de 2009, por lo que se ajustó el volumen de las inversiones para contemplar la inflación local y los cambios en la cotización del dólar estadounidense (Informe del panel de expertos, 2011).

Teniendo en cuenta las diferencias en los cronogramas de construcción, el costo de inversión es de US\$42 millones menor en la alternativa descentralizada con respecto a la centralizada; al mismo tiempo, sus costos de operación y mantenimiento son US\$87 millones más elevados que en la otra opción, por lo cual la diferencia neta de costos entre las dos alternativas es de US\$45 millones en favor de la centralizada (en términos relativos, un 10,2%). No obstante, según el análisis presentado por AySA, la alternativa descentralizada permite conectar cinco años antes a los beneficiarios del proyecto a la red (cerca de 1,3 millones de personas), por lo que se le asocia un valor neto actual en US\$104 millones (la diferencia entre 328 vs 227 millones). Cuando se compara este beneficio menos el costo de las dos alternativas, sale favorecida la opción descentralizada con una diferencia de US\$59 millones, tal lo indicado en la siguiente tabla.

Tabla 9 - Comparación Económica Centralizada vs Descentralizada

RESULTADOS ECONÓMICOS (millones de US\$)	Costos de las dos alternativas			Diferencia entre las alternativas
	Inversión	Operación y manten.	Costo total	
Alternativa Centralizada	290	106	395	
Alternativa Descentralizada	248	192	440	

Alternativa Centralizada menos	(42)	87	45	59
Alternativa Descentralizada				

Fuente: Informe de panel de expertos sobre análisis de alternativas, 2011

Como era de prever, estos resultados son sumamente sensibles a los cambios en el cronograma de construcción, los excesos en los costos y la tasa de conexión a la red cloacal. El análisis de riesgos realizado con las simulaciones de Monte Carlo muestra que la alternativa descentralizada es mejor, con una confianza del 61,5%.

Esta alternativa descentralizadora contempla en una primera etapa la construcción de los tres lotes mencionados del Sistema Riachuelo y la puesta en funcionamiento de pequeñas plantas de tratamiento con descarga de sus efluentes al Río Matanza Riachuelo. Para ello se contempla que un sector de la cuenca alta, media y baja derive sus aguas servidas a varias plantas de tratamiento, algunas que se deberán ampliar como la de Sudoeste y El Jagüel y otras a construir como Laferrere, Lanús y Fiorito. En una segunda etapa la ejecución de un colector nuevo Bajo Costanero; Estaciones de Bombeo Cloacal y Emisario Subfluvial Berazategui, con sus correspondientes redes cloacales primarias y secundarias.

En este séptimo capítulo se centra en la obra más importante de los últimos 70 años en el AMBA, el Sistema Riachuelo, y cómo a través de la solicitud del Banco Mundial encargado de financiar la obra, se estudió en profundidad que sistema entre los dos estudiados es el más adecuado para la ejecución, operación y mantenimiento con respecto específicamente a la margen derecha del Riachuelo. Se aborda a la conclusión, tal como viene sucediendo a nivel mundial, que la descentralización de los sistemas cloacales presenta beneficios y por consiguiente termina siendo la alternativa seleccionada. En el próximo y último capítulo se trata acerca del reúso del líquido cloacal, una etapa posterior a los que es el tratamiento, tanto a nivel país como internacional con ejemplos concretos de su funcionalidad y marcos regulatorios existentes.

8. REÚSO DEL LÍQUIDO CLOACAL

En este último capítulo el objetivo es dar a conocer experiencias internacionales y nacionales sobre la reutilización o reúso del líquido cloacal que existe, es una realidad y una forma de planificar aprovechando el desecho que se vuelca a los cuerpos receptores como recurso contando con normativa que lo avale en las empresas relacionadas al agua y saneamiento. En los cinco municipios de estudio y, extrapolando al área de concesión de la empresa AySA no existe este término en la normativa ni hay planes ni proyectos a futuro

para reutilizar el líquido cloacal. El motivo seguramente principal, como opinión personal, es la enorme materia prima que es el Río de La Plata como fuente de agua superficial de la cual se capta para potabilizar y, a su vez, posee un enorme poder de autodepuración para el vuelco del líquido cloacal, a esto se suma la falta de espacio físico con gran cantidad de hectáreas para el cual sea necesario llevar el líquido cloacal tratado para aprovechar el enorme caudal que genera.

Sin embargo, este hecho particular no acontece en gran parte del mundo, donde los organismos responsables de la gestión del agua se han visto obligados a buscar nuevas fuentes de recursos hídricos. Esto es consecuencia tanto del continuo crecimiento de la población que genera mayor demanda de agua, del deterioro producto de la contaminación en las aguas superficiales y las subterráneas como de la desigual distribución de los recursos hídricos. A su vez, las consecuencias y efectos del cambio climático se están sintiendo desde ya hace varias décadas con sequía y el aumento de la evaporación por temperaturas más altas, que pueden prolongar la intensidad y duración de la sequía. Pronósticos indican un empeoramiento de la situación, considerándose la adaptación a estos nuevos escenarios como uno de los mayores retos sociales a escala mundial (IPCC, 2014).

Hoy en día el mundo lucha contra la escasez de agua, por eso se presta mucha más atención al reúso de los efluentes tratados convirtiéndolo en un recurso hídrico valioso que protege al medio ambiente ya que puede proporcionar un efluente seguro para aplicaciones potables directas o indirectas y no potables, principalmente, agua para la agricultura e industrias, que abordaremos en este capítulo. En grandes ocasiones cabe destacar, ante esta adversidad en la que se vive con respecto a la obtención de fuentes de agua dulce, se habló del tema de potabilizar el agua salada, sin embargo, hoy en día las perspectivas de crecimiento de la reutilización de agua regenerada en el mundo podría sobrepasar al de agua desalada y hasta analistas de la Global Water Intelligence¹³ predijeron en 2016 como la “década dorada” la reutilización del líquido cloacal.

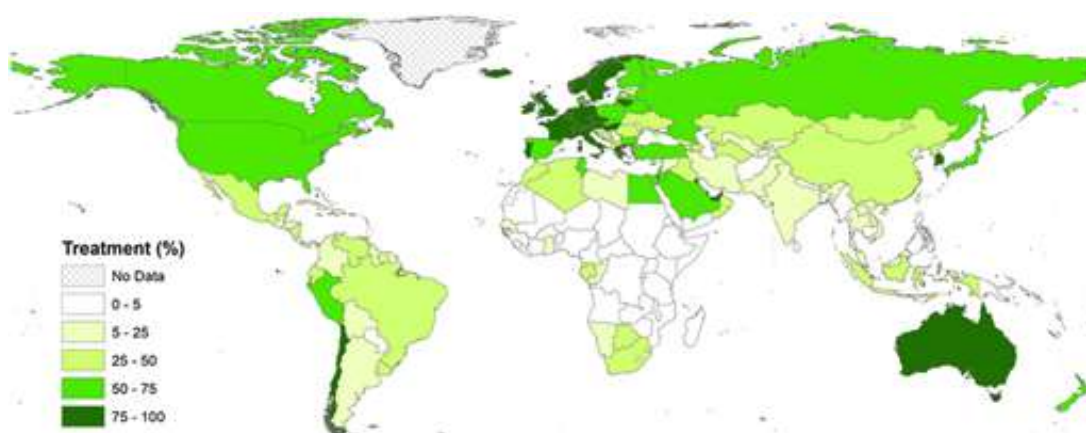
Todo este concepto tiene beneficios ambientales, a enumerar, la conservación de cuerpos de agua evitando su vertido, preserva y mejora el medio natural como los humedales, eficiencia en la gestión de los recursos hídricos, mejora el suelo para la actividad agrícola, permite una economía circular aprovechando recuperar los nutrientes como los compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio a los ciclos naturales; beneficios sociales, aumenta el número de personas que acceden al agua potable, disminuyen las enfermedades puesto que 1.000 niños mueren por día a causa del consumo de agua no tratada y entre los beneficios económicos, representaría un ahorro en los costos debido al menor uso de fertilizantes, reducción en el costo de agua de consumo, etc (IAGUA¹⁴, 2017).

¹³ Editorial y organizadora de eventos líder en información comercial de alto valor al servicio de la industria internacional del agua.

¹⁴ Proyecto web especializado en la información sobre el sector del agua. Desde el año 2008, se ha consolidado hasta convertirse en un referente en castellano.

En las siguientes imágenes se observa, en base a porcentajes, el nivel de tratamiento de líquido cloacal en primer lugar y en segundo el de reúso para cada uno de los países. Se detallará en el apartado de cada continente el principal país en cuanto a porcentaje o caudal que trata para reúso; a nivel municipal el principal es Nueva Delhi de India que recicla 500 millones de galones por día de efluentes tratados (Fluence News¹⁵, 2021), convirtiendo unidades, 21.91 m³/seg (comparativamente se asemeja a un 80% del caudal máximo de ingreso a la nueva Planta de Pretratamiento del Sistema Riachuelo mencionado en el capítulo 4) para la horticultura, la recarga de acuíferos a través de áreas de filtración de aguas subterráneas y el mantenimiento municipal, como el lavado de vehículos de transporte público.

Ilustración 7 - Porcentaje de líquido cloacal tratado a nivel mundial



Artículo “Country level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse”, 2021

Ilustración 8 - Porcentaje de líquido cloacal reutilizado a nivel mundial



¹⁵ Empresa que se encuentra en más de 70 países, especializada en brindar soluciones de tratamiento descentralizado de agua y efluentes.

Fuente: Artículo “Country level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse”, 2021

En cuanto al reúso, existen tres posibilidades de destino del líquido cloacal tratado:

Reúso de Agua No Potable: Los efluentes se recolectan, tratan y utilizan para aplicaciones que no requieren agua potable (de calidad para beber). El agua reutilizada constituye una fuente idónea para sustituir el agua potable en donde no se requieren de un grado de calidad tan alto, es por eso que existen muchas aplicaciones urbanas, comerciales, y principalmente industriales y agrícolas que pueden satisfacerse con esta calidad del efluente tratado. Incluso en algunas partes del mundo, se han construido redes de tuberías paralelas para transportar esta agua no potable. Por ejemplo en la ciudad de Santa Bárbara, en California, se proporciona agua para el riego de jardines en parques, escuelas, campos de golf, zoológico, asociaciones de propietarios y comunidades de jubilados. También se usa para descargar inodoros, controlar el polvo y limpiar las aceras (Fluence News, 2019).

Reúso Indirecto de Agua Potable: Es la descarga de agua altamente tratada y no potable en el medio ambiente como una etapa intermedia antes del reúso, permitiendo que la dilución y los procesos naturales funcionen. Dicha agua podría descargarse en un cuerpo de agua superficial como un lago o río, o en un acuífero como parte de un programa de recarga administrado.

Reúso Directo de Agua Potable: Es la práctica de tratar altamente el agua para usarla como agua potable sin liberarla primero en un sistema ambiental. En este modelo, los efluentes se canalizan a una planta de tratamiento con instalaciones avanzadas en tecnología ya que después del mismo se canaliza directamente a una red de agua potable. Es el caso menos expandido por los costes asociados, sin embargo, es posible citar como ejemplo a la ciudad de Wichita Falls, Texas, que desde el 2014 estableció el sistema de tratamiento tradicional de efluentes, sumándole microfiltración, ósmosis inversa y desinfección ultravioleta. Para esto tuvo que ser acompañado por las agencias reguladoras, el municipio y el estado en el hecho de generar una gran confianza pública en la empresa de servicios públicos, junto a extensas pruebas y apoyo comunitario sostenido (Fluence News, 2019).

Principalmente en este último uso, cabe destacar que a pesar de haberse superado los obstáculos técnicos, en algunas partes del mundo persisten las barreras psicológicas de las personas. En ocasiones, el desarrollo de un programa de reutilización de aguas residuales choca con la reticencia del público, por temores a riesgos contra la salud o el medio natural, estas situaciones son más frecuentes en las zonas con abundancia de agua. Sin embargo, la experiencia muestra que, tras una adecuada explicación de los beneficios de la reutilización en un proceso de información pública comprensible y que responda a las inquietudes de los usuarios, los programas de reutilización son aceptados y, posteriormente, muy bien valorados.

Es importante destacar que el reúso no es una ideología o concepción que nació en estos últimos tiempos sino por el contrario viene expandiéndose desde hace aproximadamente 100 años, y hasta hay un caso particular antes de Cristo. En la época del Rey David, año 655 A.C. para vencer a los jesuitas, utilizaron los canales de desagües de las aguas negras y lluvias para introducirse. Cuando David entró a Jerusalén convirtió la ciudad en el centro de su reino, ordenó la ampliación de la antigua red, convirtiéndola en un sistema de alcantarillado separativo, y en ese entonces, los sedimentos que se hallaban en los canales de desagüe se aprovechaban. El canal principal desembocaba en grandes lagos, donde sedimentaban las materias en suspensión, que posteriormente se utilizaban como abono y el agua de los lagos servía para riego de huertas (Torres, 2019).

8.1. Panorama del reúso en América

En el continente americano el principal país con mayor cantidad de proyectos encarados y experiencia a lo largo del tiempo, que se abordará como caso de estudio, es Estados Unidos que posee el 8% de reutilización del líquido cloacal con respecto al total de aguas tratadas (Angelokis, A.N., Gikos, P, 2014). El primer hecho con conocimiento a nivel mundial en este país fue en el año 1926, en el Grand Canyon National Park de Arizona, donde se utilizó el agua residual en un sistema de abastecimiento doble para su uso en lavabos, sistemas de aspersión de espacios verdes, y como agua de refrigeración y de calefacción. En 1929, la ciudad de Pomona, de California, reutilizaba el agua para el riego de jardines y espacios verdes (Marrero Hernandez, 1998). Según el principal estudio a nivel nacional disponible sobre los proyectos de recuperación y reutilización de efluentes en 1975 en los Estados Unidos ya existían 536 proyectos de reutilización de agua de esta índole (Hilbron, 2012).

En total y en la actualidad, treinta estados (de los 50 que existen) y un territorio nacional de Estados Unidos, adoptaron regulaciones de reúso del agua; adicionalmente, quince estados tienen guías o estándares que gobiernan la reutilización del agua. (USEPA, 2012). El 80% del reúso actual se lleva a cabo en los estados de Arizona, Florida, California y Texas (EPA, 2012), estos dos últimos son los estados con mayor población de Estados Unidos según censo 2020 y a los cuales se ejemplificará. A nivel país, en primer lugar, como destino del reúso se ubica la irrigación agrícola con el 29%; otros usos de riego con el 20%; los campos de golf y paisajes se ubican terceros con el 18%. (USEPA, 2012).

Dentro del estado de Texas, se encuentra el ejemplo de la ciudad de San Antonio que posee una población de 1.43 millones de habitantes (censo 2020) siendo la séptima ciudad más grande de Estados Unidos y la segunda en el estado de Texas. Comparativamente en cantidad de población con respecto a Argentina, se asimila a las provincias de Salta y Entre Ríos (censo 2022). Esta ciudad estadounidense posee tres plantas de tratamiento que utilizan el líquido cloacal tratado para el riego de espacios verdes públicos, para canchas

de golf, para proveer a clientes comerciales e industriales y como aporte al San Antonio Riverwalk (Paseo peatonal del río San Antonio), uno de los principales atractivos turísticos de la ciudad. A su vez, posee una distribución del agua reciclada de alta calidad de 177 kilómetros de extensión.

Dentro del estado de California, se encuentra el ejemplo del condado de Orange que posee una población de 3.1 millones de habitantes (Censo 2020), comparativamente en cantidad de población con respecto a Argentina, se asimila a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (censo 2022). En 2008, se construyó una planta de tratamiento de líquidos cloacales, que hasta entonces eran arrojados directamente al mar, que supera incluso los estándares federales y estatales para ser considerada potable. La mitad del agua se utiliza como barrera para evitar el ingreso de agua salada a los acuíferos, y el resto llega a un lago, desde donde se filtra hacia las fuentes hídricas subterráneas que luego abastecen de agua potable la zona. En otra ciudad dentro de California, San Diego posee una población de 1.3 millones de habitantes (censo 2020), comparativamente en cantidad de población con respecto a Argentina, se asimila a la provincia de Misiones (censo 2022). En el lanzamiento de la guía de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), se presentó un análisis estadístico comparativo entre los años 2004 a 2011 sobre la evolución de la aceptación pública sobre el reúso en esta ciudad. El porcentaje del público que se opone fuertemente al proyecto pasó de 45% en 2004 a 11% en 2011. Mientras que la suma de los que se encontraban a favor o muy a favor aumentaron de 28% a 67%. (Murray, 2012)

En la actualidad y ante los inconvenientes generados por el cambio climático en cuanto a la sequía extrema en el oeste de dicho país, sus miembros de la Cámara de Representantes han presentado un proyecto de ley que financia en 750 millones de dólares en proyectos de reciclaje de agua en 17 estados hasta el 2027, promoviendo para su uso en el abastecimiento del agua potable (Fluence News, 2021).

En referencia a América Latina son seis los países que contemplan el reúso. En orden cronológico, México en 1996 que contempla varios tipos de aprovechamientos; Panamá en 1999 que contempla ocho tipos de aprovechamientos, establece parámetros físico-químicos, metales y microbiológicos, únicamente reúso indirecto; Costa Rica en 2007 que contempla también ocho tipos de aprovechamientos, aunque apenas existen casos de reúso, Colombia en 2014 que contempla uso agrícola e industrial; Ecuador en 2015 que posibilita reúso en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente para uso agrícola y Chile en 2018 que establece el reúso en aguas grises para cinco usos permitidos y restringe uso agrícola (CAF, 2022).

8.2. Panorama del reúso en Oceanía

En este continente, el país con mayor experiencia y porcentaje de caudal de líquido cloacal con reúso es Australia que lo citaremos como caso de estudio. El reúso en las grandes

ciudades llega al promedio de 9% de las aguas residuales tratadas, mientras que las ciudades medianas y pequeñas reúsan un promedio de 23% (EPA, 2012). Australia es un país de referencia en cuanto al uso de aguas regeneradas, por esta razón la Unión Europea (UE, en adelante)¹⁶ tomó la normativa australiana como base para la elaboración de sus propios niveles guía (Iris, 2022). El 47 % de los proyectos de reúso de líquido residual suplen agua para riego agrícola, el 40% el agua para necesidades urbanas como riego de parques, áreas verdes, campos de golf, lavado de calles y vehículos e industria de la construcción y el restante 13% suple a industrias de servicio, como agua para centros comerciales y edificios de oficinas, agua para calderas y agua para sistemas de enfriamiento (Mekela, G. D., et al, 2008).

Específicamente en una de las dos ciudades más grandes del continente, Sydney, con una población estimada de 5 millones, comparativamente en cantidad de población con respecto a Argentina, posee un millón más que la provincia de Córdoba, la segunda en cantidad de población en nuestro país (censo 2022). Esta ciudad australiana ha sido duramente afectada por la sequía, por lo que el reúso indirecto de agua potable es una realidad técnica porque muchas comunidades aguas arriba descargan sus efluentes altamente tratados en los ríos que abastecen el agua potable de Sydney. Esto también ocurre en el otro lado del continente donde en la ciudad de Perth el reúso es del 10%, que es utilizada para recargar el agua subterránea de la ciudad (Fluence News, 2019), que estadísticamente es la cuarta ciudad más poblada de Australia, con alrededor de 2 millones de habitantes, comparativamente en cantidad de población con respecto a Argentina, se asimila a Mendoza.

8.3. Panorama del reúso en África

En el continente africano el volumen de aguas residuales tratadas que se reúsan es limitado (AIDIS, 2016). No obstante, es posible mencionar el caso de Egipto, el segundo país con mayor cantidad de habitantes y el mayor en caudal de reúso del continente, constituyendo un 11% de la demanda total del agua (WHO, 2005) utilizada mayormente para riego agrícola. Otro caso es Líbano, que reúsa la mitad del volumen demandado (WHO, 2005).

Para destacar dentro del continente está la ciudad de Windhoek en Namibia que cuenta con una población superior a 400 mil habitantes, comparativamente en cantidad de población con respecto a Argentina, se asimila a Catamarca. La totalidad de las aguas residuales tratadas de la planta se utilizan para abastecer directamente una planta potabilizadora. Este sistema ha operado por 48 años y no se han informado efectos

¹⁶ Conformado por 27 países miembro: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Polonia, Portugal, República Checa (Chequia), Rumanía, Suecia.

adversos a la salud, constituyendo el primer caso en el mundo en la reutilización directa para agua potable (EPA, 2012).

8.4. Panorama del reúso en Europa

En la EU el reúso del líquido cloacal se encuentra normado, y justamente el 26 de Junio del año 2023, entró en vigencia un nuevo reglamento que persigue fomentar un uso sostenible del agua y que va a significar un avance en materia de seguridad en el riego de los productos agrícolas con agua regenerada. Previo a esto, es posible citar la Directiva 1991/271/CEE del Consejo sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas, en la cual se establece que los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que dichas aguas sean tratadas correctamente antes de su vertido al río; la Directiva Marco del Agua 2000/60/CEE, que avala la protección de las aguas y fomenta su uso sostenible, garantizando su disponibilidad a largo plazo de toda Europa y, por último, la estrategia de crecimiento denominada "El Pacto Verde Europeo", de 2019 relacionada con su transformación económica, pero cumpliendo fuertes objetivos de disminución de impacto ambiental y conservación de la biodiversidad. Esta iniciativa propone, entre otras medidas, disminuir a la mitad la generación de gases con efecto invernadero hasta el 2030, separar el crecimiento económico del uso de recursos y ser ambientalmente neutra en el 2050.

La reutilización del agua aparece como un recurso estratégico sin el cual algunas cuencas hidrográficas europeas no podrían afrontar los grandes desequilibrios en sus balances hídricos, bien por encontrarse con zonas de escasos recursos y gran demanda o bien porque se produzca situaciones de sequía que por desgracia cada vez son más recurrentes (entrevista a Hugo Morán, Secretario de Estado de Medio Ambiente del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, en jornada técnica IAGUA, 2020). Cabe destacar que en ningún caso se utiliza la reutilización directa de aguas regeneradas para uso potable (publicación de Water Alternatives). Sin embargo, se considera aceptable la reutilización indirecta, devolviendo estos caudales al medio natural para luego captarlos nuevamente.

El nuevo reglamento europeo 2020/741 realizado en Bruselas, el 25 de mayo de 2020 trata específicamente acerca del reúso y de su aprovechamiento agrícola. El mismo posee requerimientos de calidad (sobre todo en cuanto a microbiología) muchas veces superiores al líquido tratado de las depuradoras, por lo que será necesario instalar nuevos sistemas de desinfección o mejorar los existentes (IAGUA, 2020).

En cuanto a las estadísticas del líquido cloacal utilizado para el reúso en Europa, se mantuvo prácticamente constante durante los años 2008-2016 en un valor aproximado a 700 millones de m³/año. En este contexto, de acuerdo con los datos proporcionados

(Eurostat¹⁷, 2020), en el año 2016 en la UE se trataron aproximadamente 24.800 millones de m³ de agua residual. Por lo tanto, menos del 3% del agua residual tratada en la UE es reutilizada. Así mismo, se observa una importante concentración de la reutilización en algunos países europeos, específicamente en dos de ellos, con España liderando, país que reutiliza aproximadamente el 75% del volumen total de agua reutilizada de la UE, seguido de Croacia con un 17%. No obstante, el mayor porcentaje de reúso en cuanto a su caudal lo tiene Chipre, con prácticamente el 100%, seguido de Malta, con el 60%. En tercer lugar, están Grecia, España e Italia con porcentajes que se encuentran entre el 12 y el 5% de sus efluentes (Sartor, 2012).

Se citará como casos del estudio al país con mayor porcentaje y al de mayor caudal de reúso.

En el caso de Chipre, tiene una política nacional que se sintetiza en la frase “ni una gota de agua al mar” (Jordi Raso, 2012). Este país es el miembro de la Unión Europea con mayor estrés hídrico, con un volumen de recarga muy por debajo del volumen de agua extraída. Por tanto, en dicho país desde la década del 60 hasta los primeros años del milenio, se trabajó con el objetivo de captar la escorrentía del agua de lluvia, llegando a multiplicar la capacidad de los reservorios por factor 50 (Theulé, 2016); en este siglo estuvieron presente la desalinización como la solución para satisfacer más de la mitad de la demanda; la importación de agua desde Grecia tras sequías que generan muy bajas reservas de agua, y finalmente se inició una política centrada en el reciclado del residuo a través del reúso. Como consecuencia, en Chipre, en el año 2012, el 90% de los efluentes eran reutilizados para irrigación agrícola, parques, jardines y espacios verdes y una proporción pequeña se utiliza en la recarga de agua subterránea (USEPA, 2012).

En el caso de España, existieron tres planes concernientes a una política que priorice el reúso del líquido cloacal: Plan Nacional de Saneamiento y Depuración -PNSD- (1995-2005); Plan Nacional de Calidad de las Aguas -PNCA- (2007-2015) y Plan Nacional de Depuración, Saneamiento, Eficiencia, Ahorro y Reutilización -DSEAR- (2014-2023). Con la idea, a su vez, de alinear las políticas relacionadas con el Pacto Verde Europeo y el nuevo reglamento de la UE, se ajustó el contenido del Plan y de su estudio ambiental estratégico, dando lugar a la versión final y consolidada que fue aprobada mediante la Orden TED/801/2021, de 14 de julio, por la que se aprueba el nuevo Plan Nacional de Depuración, Saneamiento, Eficiencia, Ahorro y Reutilización para el período de los años 2022-2027. También existe en España, por un lado, la temática de depuración y reutilización del agua dentro del primer Plan de Economía Circular de la Comisión (2021-2023) como una de las cinco líneas de actuación y, por otro lado, el Real Decreto de Reutilización 1620/2007, que es la norma que establece el régimen jurídico que regula los criterios de calidad para la

¹⁷ Es la Oficina Europea de Estadística de la Comisión Europea, que produce datos sobre la UE y promueve la armonización de los métodos estadísticos de los Estados miembros

reutilización de estas aguas según sus usos. Comparativamente con el nuevo reglamento europeo, existen diferencias a enumerar:

Tabla 10 - Diferencias entre Real Decreto Español vs Normativa Europea sobre el reúso

Temas	Real Decreto Español	Reglamento Europeo
Acciones que regula	Cinco (urbano, agrícola, industrial, recreativos y ambiental)	Una (agrícola)
Calidad	E. Coli: ≤ 100 (numero/100ml) Sól. En Susp. ≤ 20 mg/l Turbidez ≤ 10 UNT Teniendo en consideración el ítem “Calidad 2.1 - Agrícola riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco”	E. Coli: ≤ 10 (numero/100ml) STS ≤ 10 mg/l Turbidez ≤ 5 UNT Teniendo en consideración la “Clase A - Cultivos de alimentos que se consumen crudos y están en contacto directo con las aguas regeneradas, así como tubérculos que se consumen crudos, para cualquier método de riego”
Partes responsables	Se distingue entre el primer usuario, el usuario del agua regenerada, el titular de la autorización y el titular de la concesión.	Se distingue entre el operador de la regeneración y de depuración, el sistema de distribución, de almacenamiento y la autoridad permanente designada
Responsable de calidad regenerada	El titular de la autorización es responsable en todo momento de la calidad regenerada y de su control.	Es el operador del suministro hasta el punto de cumplimiento (punto en el que la estación regenerada de agua suministra agua regenerada al siguiente actor de la cadena). Luego, la responsabilidad de la calidad es del usuario quien debe velar para que las aguas se mantengan con las normas de calidad establecidas.

Fuente: Elaboración propia en base a entrevista a Concepción Marcuello, responsable de la Unidad de Apoyo de la Dirección General del Agua del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, en jornada técnica IAGUA, 2020

El Instituto Nacional de Estadísticas, con sus siglas INE, de ese país muestra que el último registro existente del año 2020, España reutiliza el 10,9 % (1.457.620 m³/día de volumen total de agua reutilizada sobre 13.361.642 m³/día de volumen de aguas residuales tratadas). Del mismo el 72,4% se usa en la agricultura; el 17,2% en jardines y zonas deportivas de

ocio; el 2,5% en industria; el 2,4% en limpieza de alcantarillado y baldeo de calles, existiendo un 5,5% para otros usos (Web del Instituto Nacional de Estadísticas de España, 2023). Es necesario resaltar, que el sector sur oriental, con Murcia, Baleares y La Comunidad Valenciana, poseen un aliciente suficientemente fuerte a causa de la falta de recursos hídricos, en dichas comunidades autónomas fueron capaces de llegar a porcentajes importantes de reutilización, que hoy superan en todos, el 40% del volumen tratado. Sin embargo, la diversidad es tan amplia ya que más de la mitad de las comunidades se encuentran hoy por debajo del 3% y otras comunidades como Extremadura, Navarra, la Rioja, Ceuta y Melilla, que no reutilizan nada, un 0 %.

Para destacar una ciudad dentro del reúso y planificación, está el caso de Barcelona dentro de la comunidad de Cataluña, que posee una población de 1.6 millones de habitantes (censo 2022), comparativamente en cantidad de población con respecto a Argentina, se asimila a la provincia de Tucumán. En el río Llobregat, donde la depuradora del Prat una vez que trata las aguas residuales utilizando tecnologías avanzadas, las bombea río arriba y mezcla con el caudal fluvial. La mezcla se produce a unos ocho kilómetros aguas arriba de la planta potabilizadora de Sant Joan Despí, que abastece a la ciudad. Este proyecto ha sido posible gracias al Plan de emergencia en situaciones de sequía de Cataluña aprobado en 2020, que permite este uso en escenarios de excepcionalidad o emergencia. Anteriormente, solo se utilizaban caudales de agua regenerada para fines agrícolas, limpieza y riego urbano, y como barrera hidráulica para evitar la intrusión salina en el acuífero. En base a este potencial observado de la reutilización del agua, se prevé la construcción de más de 25 plantas de regeneración en Cataluña, replicando el modelo del río Llobregat en otro río, el Besós. (Adecagua¹⁸, 2023). Justamente en esta comunidad autónoma, se desarrolló la primera experiencia de reutilización en el país en el año 1932, en Tarragona, situada en el sur.

8.5. Panorama del reúso en Asia

En este continente, al igual que lo que sucede con el africano, el porcentaje de las aguas residuales que reciben tratamiento es muy bajo. Por lo tanto, en términos generales, las aguas residuales tratadas que se reúsan es mínima (AIDIS, 2016). Sin embargo existen países como China, India, en Asia Oriental, o Israel en el Medio Oriente, donde la reutilización se está convirtiendo en una gran prioridad.

Se citará como casos del estudio al país con mayor porcentaje y al de mayor caudal de reúso.

¹⁸ Es la Asociación para la Defensa de la Calidad de las Aguas, que inició su actividad en 1967 con el objetivo de ser un marco de referencia y punto de encuentro para todos aquellos interesados en los aspectos relacionados con el conocimiento y mejora de la calidad de las aguas. Hoy en día, es la principal asociación española relacionada con la gestión de la calidad de las aguas.

En el caso de Israel, un país con una geografía muy diversa, las regiones desérticas en el sur carecen de fuentes de agua y una precipitación pluvial que se limita a la estación invernal, es por esto que el país adoptó al reúso como recurso, de esta forma trata el 93% del agua residual producida y se reutiliza el 85% del total de agua residual, con 67 grandes instalaciones de tratamiento de efluentes. La mayor parte se somete a un tratamiento terciario y se utiliza para riego agrícola (Fluence News, 2021). El objetivo es reducir la demanda de las fuentes de agua dulce, liberando a Israel de la dependencia de las lluvias para la producción de alimentos, mediante la utilización de aguas regeneradas urbanas (Hernández Loyola, 2017). En este modelo enmarcado en una rigurosa política de precios del agua donde las tarifas reflejan los costes reales para asegurar el uso eficiente de los recursos hídricos, participan agentes públicos y privados. Así, la responsabilidad de recolectar y tratar el agua residual hasta su tratamiento secundario corresponde a las autoridades locales. Por el contrario, la responsabilidad de construir y operar las instalaciones para la regeneración de agua residual (tratamiento terciario) corresponde al sector privado. Tanto las autoridades locales como el sector privado operan bajo la regulación de la Autoridad Israelí del Agua que es una agencia interministerial e independiente (AIA, 2015). Cabe destacar, que el marco para el control y la protección de las fuentes de agua de Israel se decretó en la Ley de Aguas en 1959 que todas las fuentes de agua son de propiedad pública y que en consecuencia, todos tienen derecho para usar el agua, mientras que este uso no cause la salinización o el agotamiento del recurso de agua. En 1971, la ley fue reformada a fin de incluir prohibiciones relacionadas, ya sea directa o indirectamente con la contaminación del agua, independientemente de cómo se encontraba el agua con anterioridad al uso.

Cabe destacar que en cuanto a las consecuencias de la utilización de aguas reutilizadas sobre productos agrícolas, Israel posee estudios donde se midieron la cantidad de carbamazepina¹⁹ que existía en la orina de las personas. Se hizo un estudio de que concentraciones tenía, si un vegano estuviera tomando 500 gr de frutas y verduras cada día, ese regado sólo con aguas residuales regeneradas, sería necesario para que pudiera afectar a su salud 204 años, y si no es vegano y además se mezcla con distintos tipos de agua, serían 2040 años, demostrando que los temas técnicos en el hecho de la reutilización ya no son un inconveniente gracias a la tecnología existente (IAGUA, 2016).

En el caso de China, el país que reúsa el mayor volumen de aguas residuales tratada en el mundo (AIDIS, 2016), es, a su vez, el líder mundial en el reúso descentralizado. Las plantas descentralizadas presentan grandes ahorros comparado con el costo de vincular el tratamiento a una planta central, las mismas utilizan unidades modulares la tecnología de reactor de biofilm de membrana aireada, que cuenta con nitrificación-desnitrificación en el mismo tanque para una alta eliminación de nutrientes que se controlan de forma remota

¹⁹ Puede generar disminución del número de células sanguíneas producidas por su organismo. En casos poco frecuentes, la cantidad de células sanguíneas puede reducirse lo suficiente como para causar problemas de salud graves o que pueden poner en riesgo la vida.

desde una ubicación central (Fluence News, 2021). Esta medida es consecuencia de los lanzamientos sin precedentes para concretar desarrollos verdes y rurales, a partir del decimotercer plan quinquenal (FYP, por sus siglas en inglés) del año 2016, donde se empezó a buscar abordar la grave degradación ambiental construyendo sus sectores de servicios con energía limpia, fabricación verde y servicios ambientales. La inversión en miles de millones de dólares referido al tratamiento de efluentes cloacales fue incluso superior al realizado para la descontaminación de ríos (Fluence News, 2018).

8.6. Panorama del reúso en Argentina

Argentina no tiene un marco legal que establezca las condiciones mínimas requeridas para el reúso del líquido cloacal así como tampoco políticas de promoción para el desarrollo de esta actividad. Jurídicamente el único caso a nivel país que trascendió sobre el reúso como proyecto de Ley fue el presentado en el Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente de AIDIS²⁰ Argentina en el año 2012 realizada por un grupo de estudio de ingeniería ambiental de la UTN. Esta propuesta de proyecto de Ley poseía cinco criterios centrales integrados, a citar: la cuestión jurisdiccional en las políticas del agua; el fortalecimiento de la infraestructura de saneamiento urbano; el abordaje específico e integrado del reúso del agua; los usos y estándares mínimos y los incentivos impositivos a los proyectos productivos. Los tres principales objetivos que pretendía alcanzar eran:

- Reducir la demanda sobre las fuentes de agua dulce por medio del reúso de las aguas residuales destinadas a actividades productivas y paisajísticas.
- Disminuir los vertidos de carga contaminante sobre diferentes cuerpos receptores, por medio de la gestión de los efluentes, tendiendo a la minimización del vuelco (Incorporación de tecnologías secas y reciclado de los efluentes).
- Potenciar el desarrollo de actividades productivas sustentables utilizando aguas residuales tratadas en zonas de secano.

Por el lado de los beneficios directos destaca, por un lado, el ahorro del agua como consecuencia de liberar los caudales de agua dulce actuales destinados a actividades paisajísticas, productivas o agrícolas. Por otro lado, la captación de nutrientes presentes en el efluente cloacal para destinarlo como fertilizante en suelos para la producción agropecuaria (AIDIS / UTN, 2012).

La propuesta de proyecto de Ley fue presentado en el Congreso de la Nación Argentina bajo el sumario “régimen de reúso para aguas residuales” en el año 2011 pero no ha

²⁰ Es la Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, una organización no gubernamental con personería jurídica desde 1948 como sociedad civil técnico-científico sin fines de lucro, presente en 32 países de América y el Caribe.

progresado con el correr de los años en el poder legislativo²¹ (entrevista mediante contacto vía email con Mg. Ing. Sartor y Esp. Ing. Cifuentes, referentes del trabajo de propuesta de ley nacional, 2023).

Cabe mencionar lo anteriormente citado en los casos internacionales donde el reúso se lleva adelante en zonas con estrés hídrico y donde la carencia de agua dulce predomina. Siguiendo la misma línea, Argentina es un país que tiene más de un 75 % del territorio que corresponde a zonas áridas, semiáridas o subhúmedas secas (Subsecretaría de Recursos Hídricos, 2006), a pesar de ello el país no cuenta con normativa que tenga en cuenta el aprovechamiento del reúso.

Sin embargo, es posible mencionar que en Argentina existen experiencias prácticas aisladas de reutilización de aguas residuales con diferentes grados de consolidación, especialmente en actividades de carácter productivo; pero muy acotados en términos de cobertura, volumen, estudios e informes de eficiencia y evaluación de rendimiento. En el año 2002, un informe de la Dirección de Promoción y Protección de Salud Ambiental del Ministerio de Salud señalaba que 20 ciudades reutilizaban efluentes, de las cuales 11 tenían menos de 10.000 habitantes y ninguna arriba de un millón. (Ministerio de Salud, 2003).

Las principales experiencias en reúso de aguas residuales tratadas en la Argentina se prestan en una Planta Separadora de Gas Licuado, ubicada en el Polo Petroquímico de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires, destinada a la industria (Iturriuz, 2017); en Villa Nueva, provincia de Córdoba, destinada al riego hortícola, florícola y forestal (Bouzo y Crespi, 2021) y principalmente en Puerto Madryn, Rada Tilly y Comodoro Rivadavia, en la Provincia de Chubut, que comprende dos cuencas, el suministro de agua cloacal tratada derivado de la planta tratamiento aireada mecánicamente y el derivado de la planta de tratamiento norte. Uno de los fines particulares, es el forestal, incluso Puerto Madryn cuenta con una ordenanza municipal N°6301/2006, siendo una de las pocas ciudades del mundo en utilizarla con dicho fin protegiendo un patrimonio natural de la humanidad de la UNESCO.

Cabe destacar que, en base al relevamiento llevado a cabo de las 376 plantas mencionadas en el capítulo 3 de la Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento, el 10% reutilizan el líquido cloacal, las dos principales por caudal son los ACRE que se mencionan posteriormente en Mendoza, y también es posible citar las plantas depuradoras de Junín en Mendoza; San Juan en la Capital; Eduardo Castex en La Pampa; en Puerto Pirámides en Chubut; en General Deheza en Córdoba y en Ing. Jacobacci, Choele Choel en Río Negro

²¹ Ingresó bajo el expediente 0922-D-2011 con fecha 17-03-11, publicado en trámite parlamentario N°11 reproducido por expediente 4087-D-13; nuevamente ingresó bajo el expediente 0825-D-2015 con fecha 13-03-15, publicado en trámite parlamentario N°10 reproducido por expediente 0370-D-17; nuevamente ingresó con ese expediente con fecha 07-03-17, publicado en trámite parlamentario N°4. No hay más registros de avances con el proyecto de Ley (www.diputados.gov.ar/proyectos)

(Cohife²², 2022). La falta de normativa nacional es una deficiencia a subsanar, por lo que estas experiencias toman habitualmente los documentos y las recomendaciones de 116 las Agencias de las Naciones Unidas (concretamente WHO, en cuanto inocuidad) o de la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos.

La excepción provincial a nivel país es Mendoza, que cuenta con una arquitectura institucional y jurídica compleja en materia de gestión de agua y utilización de las aguas residuales (Sartor, 2012). Las características del clima árido de Mendoza tienen que ver con la presencia de la Cordillera de los Andes, lo que genera escasa existencia de lagos y lagunas. Además, se suma la particularidad en cuanto a la distribución de la población donde el 90% vive concentrada en los que solo representa el 3% de la superficie. El agua en esta provincia es un recurso escaso y vulnerable en sus cuatro dimensiones de análisis: cantidad, calidad, lugar y tiempo, propiciando que la reutilización sea un factor fundamental para el desarrollo productivo y la vida de las personas. Mendoza en total posee 42 plantas depuradoras que tratan en conjunto 330.000 m³/día, siendo el 93% del volumen a través de lagunas naturales.

Esta experiencia en la provincia de Mendoza tiene un punto de inflexión en el año 1996 con la aparición de un marco legal a la reutilización de aguas residuales tratadas mediante la definición de los parámetros mínimos de calidad de los efluentes tanto domésticos como industriales. Con dicha resolución comienza la organización de Áreas de Cultivos Restringidos Especiales (ACREs, en adelante) donde el tratamiento cumple dos funciones: por un lado, el agua tratada actúa como fertilizante y aumenta el rendimiento de los cultivos; y, por otro lado, se conserva el medio ambiente, evitando la contaminación del agua, por medio de la disposición final en la tierra y el aprovechamiento de nutrientes. El Departamento General de Irrigación (DGI, en adelante) de Mendoza han emitido los marcos normativos, la resolución 400/03 del Honorable Tribunal Administrativo (HTA) que reglamenta los ACREs regados con efluente de origen cloacal y la resolución 500/06 del HTA la conformación de los ACREs de invierno (Departamento General de Irrigación-Mendoza Gobierno, 2016). Estas resoluciones cumplen estrictamente con las normas establecidas por la Organización Mundial de la Salud.

Dentro de las competencias específicas en un ACRE se encuentran los siguientes participantes (Observatorio del agua Mendoza, 2023):

Regantes: Se encuentran sujetos a la expresa prohibición de utilizar las tierras afectadas a dicha zona para implantar otro tipo de cultivo y/o uso no permitido proveniente de agua de reúso o de otras fuentes de agua. Además, los regantes deben tomar bajo su exclusiva responsabilidad todas las precauciones para disponer en sus propiedades de fuentes de

²² Taller de reutilización de aguas residuales, organizado por el instituto provincial del agua del Chubut y el consejo hídrico federal – Cohife- el 28 y 29 abril de 202 en Puerto Madryn.

agua potable para ser utilizadas para consumo humano y animal, absteniéndose expresamente de utilizar el agua de reúso para éstos fines.

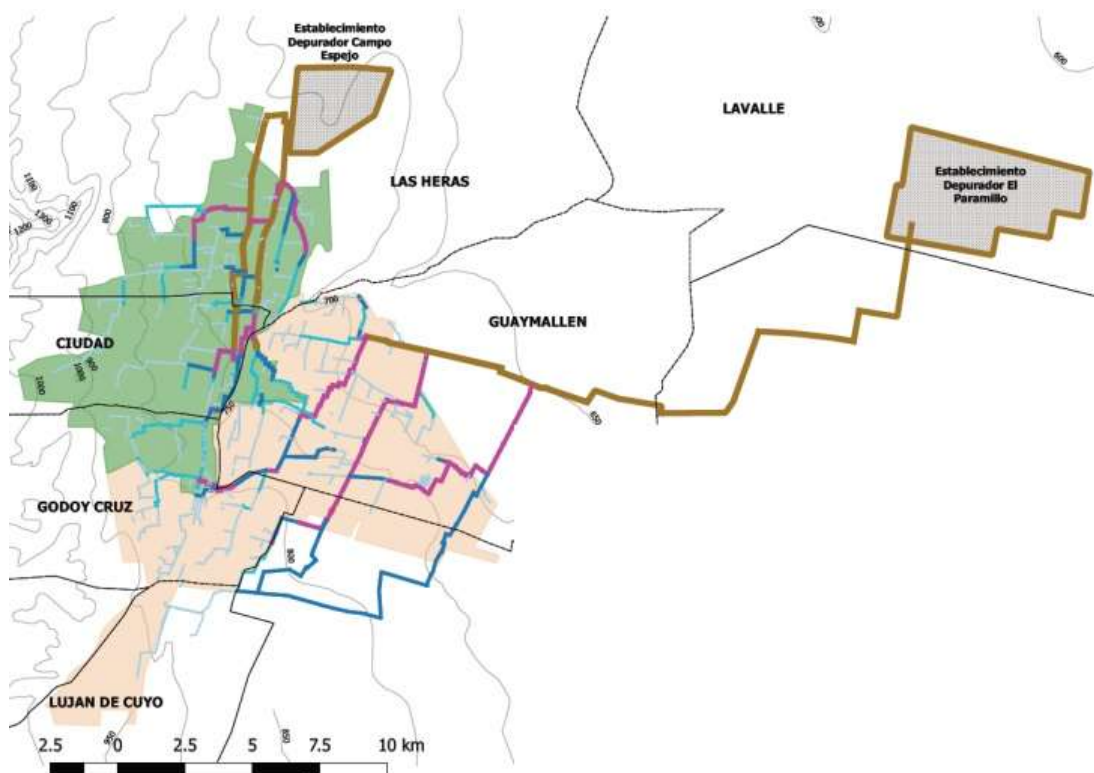
Operador del servicio de saneamiento: Debe salvaguardar que los parámetros del efluente tratado se encuentren dentro de los valores permitidos, según Normativa Vigente, Art. 11.1 de la Resolución N° 400/03. La mayor cantidad de las Plantas son operadas por AYSAM SA; el resto por Municipios, Cooperativas o Uniones Vecinales.

Autoridades de Aplicación: El DGI y la Inspección de Cauce del ACRE, conforme a sus respectivas competencias, tienen a su cargo todas las funciones que se vinculan a la administración, gobierno, fiscalización y funcionamiento del sistema hídrico que conforma el ACRE, inclusive la aplicación de la dotación en los sistemas de riego.

Municipios: La Inspección informará anualmente al municipio competente sobre los cultivos implantados en el ACRE, a los fines del contralor de la salubridad pública.

La empresa prestataria principal de la provincia del servicio desde el año 2010 es Aguas Mendocinas, con sus siglas AySAM, con una capacidad de tratamiento en la provincia 278.726 m³/día, correspondientes a una población de 1.400.000, lo que representa una cobertura del 91% del área concesionada en la provincia (aysam.com.ar/saneamiento). En el Gran Mendoza, la empresa posee dos plantas, la depuradora ACRE Campo Espejo (1.5 m³/s), que recibe los efluentes del Este de Godoy Cruz, Capital y Las Heras y el ACRE El Paramillo (1.7 m³/s) que recibe los efluentes del oeste de Godoy Cruz, Guaymallen y Lujan de Cuyo (Universidad Nacional de Cuyo, 2020). Dentro de lo que es la Cuenca del Río Mendoza, el 91% corresponde a estas dos ACRE y si tenemos en cuenta toda la provincia es el 77% de los efluentes tratados.

Ilustración 9 - Aguas residuales urbanas en Mendoza



Fuente: Rauek, Departamento General de Irrigación, 2022

En este último capítulo se trajo a consideración una temática vista de manera muy aislada, con excepción de la provincia de Mendoza, en nuestro país y que a nivel mundial existen lugares que lo vienen implementando o que lo iniciarán con nuevas normativas acordes a los tiempos de hoy, el reúso del líquido cloacal. Las potencias mundiales, como ser el sudoeste de Estados Unidos, el sudeste de España o China hoy en día lo adoptan como criterio en su planificación utilizando sistemas descentralizados para luego ser utilizados con el correspondiente reúso del líquido cloacal tratado. A su vez, se indagó en detalle los principales países por cada continente haciendo énfasis en nuestro país, donde no existe normativa legal que lo promocióne ni marque el camino. Sin embargo, consideró que, a futuro, acompañando con un cambio cultural en la sociedad, va a ser una de las alternativas posibles para nuestro sector agrícola, industrial o incluso en los lugares donde es marcado el estrés hídrico.

Bibliografía

- Acuña, C. H., Cetrángolo, O., Cáceres, V., & Goldschmit, A. (2017). La economía política de la política de agua y saneamiento en la Argentina - Historia, actualidad y perspectivas. *Serie Documentos de Trabajo del IIEP*.
- Agua y Saneamiento Mendoza. (2023). AySAM. Obtenido de <https://www.aysam.com.ar/>
- Agua y Saneamientos Argentinos. (2023). AySA. Obtenido de <https://www.aysa.com.ar/>
- Aguas Argentinas - Información General . (s.f.). *Planta Depuradora Sudoeste*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Aloma, S. y. (2020). *Propuesta de Ley Nacional para reuso de aguas residuales*. Buenos Aires: edUTecNe.
- Antonio, J. F., & Yony, Z. A. (2018). Factores que afectan la calidad de los servicios de agua potable y saneamiento. *Universidad Privada del Norte*.
- Aquabook. (2023). Obtenido de https://aquabook.irrigacion.gov.ar/360_0
- Argentinos, A. y. (2019). *Establecimiento Wilde*. CABA: Lazos de Agua.
- Azpiazu, D. (2010). Privatización del agua y el saneamiento en Argentina: el caso paradigmático de Aguas Argentinas S.A.” . *Erudit*.
- Bereciartua, P. (2017). *Argentina: Plan nacional de agua potable y saneamiento*. Subsecretaría de Recursos Hídricos.
- Biblioteca Virtual de Salud. (2022 de Junio de 21). Obtenido de https://bvsalud.org/vitrinas/es/post_vitrines/defecacion-al-aire-libre/
- Blazquez, P. y. (2010). *Reutilización de agua en Bahía Blanca Plata 3ra Cuenca*. Bahía Blanca: edUTecNe.
- Bondorevsky, D., & Petrecolla, D. (2001). Concesiones de agua y saneamiento en la Argentina: impacto en los sectores pobres. *Centro de Estudios Económicos de la Regulación*.
- Bouzo, S. F. (2014). *Reflexiones sobre la gestión integrada de cuencas hídricas en Buenos Aires. Las redes de organización social en las políticas de saneamiento ambiental*. Buenos Aires: Geograficando.
- Cáceres, V. L. (2013). La provisión del servicio de agua y saneamiento de la provincia de Buenos Aires: fragmentación y desigualdad. *OIKONOMOS*.
- Cáceres, V. L. (2017). *La política de agua y saneamiento de la provincia de Buenos Aires, Argentina 1973-2012*. Jaén, España: Agua y Territorio Núm 10.
- Cáceres, V. L. (2017). La regulación ambiental de los servicios de agua y saneamiento en Argentina. *Revista Electrónica del Instituto de Investigaciones "Ambrosio L. Gioja"*.
- Cáceres, V. L., & Carbayo, A. M. (2013). La concesión del servicio de agua y saneamiento en la Provincia de Bs As. *Revista Electrónica del Instituto de Investigaciones "Ambrosio L. Gioja"*. Aportes al Planeamiento Estratégico de los Sistemas Cloacales

Cáceres, V. L., & Minaverri, C. (2013). La regulación de los servicios de Agua y Saneamiento en el AMBA. *Gestión Ambiental* 26.

Cebrián, P. G. (4 de Abril de 2018). *IAGUA*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/pablo-gonzalez-cebrian/espana-se-reutiliza-9-agua-residual-tratada>

Centro Latinoamericano y del Caribe de Información en Ciencias de la Salud. (21 de Junio de 2022). Obtenido de https://bvsalud.org/vitrinas/es/post_vitrines/defecacion-al-aire-libre/

Chamorro, J. (17 de Abril de 2023). *IAGUA*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/jorge-chamorro/reutilizacion-aguas-regeneradas-reflexiones>

Díaz Lázaro-Carrasco, J. A. (27 de Julio de 2020). *IAGUA*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/jose-antonio-diaz-lazaro/reutilizacion-agua-estrategia-espanola-economia-circular>

Diputados Argentina - Proyecto de Ley. (2020). Obtenido de <https://www4.hcdn.gob.ar/dependencias/dsecretaria/Periodo2020/PDF2020/TP2020/6883-D-2020.pdf>

Diputados Argentina - Proyecto de Ley. (2021). Obtenido de <https://www4.hcdn.gob.ar/dependencias/dsecretaria/Periodo2021/PDF2021/TP2021/4240-D-2021.pdf>

Diputados Argentina. (2023). Obtenido de <https://www.diputados.gov.ar/proyectos/resultados-buscador.html>

Económicos, O. p. (2020). *Gobernanza del Agua en Argentina*.

Eddy, M. &. (1995). *Ingeniería de aguas residuales - Tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid: Mc Graw - Hill.

El Ágora diario del agua. (14 de Mayo de 2020). *El Agora Diario*. Obtenido de <https://www.elagoradiario.com/agua/europa-multiplicara-por-seis-la-reutilizacion-de-agua/>

España, I. N. (2023). *INE*. Obtenido de <https://www.ine.es/>

estado, A. e. (27 de Julio de 2021). *BOE*. Obtenido de https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-12592

Ferro, G. (2000). El servicio de agua y saneamiento en Buenos Aires: privatización y regulación. *Centro de Estudios Económicos de la Regulación*.

Fluence News Team. (21 de Noviembre de 2019). *Fluence*. Obtenido de <https://www.fluencecorp.com/es/que-es-reuso-de-agua/>

Fluence News Team. (18 de Agosto de 2021). *Fluence*. Obtenido de <https://www.fluencecorp.com/es/estado-mundial-reuso-agua/>

Hidalgo, A. A. (s.f.). *Reutilización y sostenibilidad: el aprovechamiento de las aguas grises y las aguas pluviales*. 1 Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante.

Informe complementario PLAN DSEAR - Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (Octubre de 2020). Obtenido de

https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/6_ic_reutilizacion_1_tcm30-514162.pdf

Informe de Panel de Expertos. (2011). *Análisis de alternativas al colector margen derecho - Proyecto de desarrollo sustentable para la cuenta Matanza Riachuelo*. Ciudad de Buenos Aires.

Instituto Geológico y Minero de España. (s.f.). IGME. Obtenido de https://aguas.igme.es/igme/publica/libro33/pdf/lib33/cap_2_b.pdf

Instituto Nacional de Tecnología Industrial. (2023). INTI. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/inti>

Iturrioz, G. (2017). *Reuso de los efluentes industriales de una Planta Separadora de Gas Licuado*. Tandil: Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires.

Jones, E., Van Vliet, M., & Qadir, M. y. (8 de Febrero de 2018). *Earth System Science Data*. Obtenido de <https://essd.copernicus.org/articles/13/237/2021/>

Lentini, E. J., Brenner, F., & Mercadier, A. (2018). Los servicios urbanos de agua potable y saneamiento en Argentina: Estado actual y desafíos. *Universidad Nacional de San Martín*.

Locken. (23 de Julio de 2019). IAGUA. Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/locken/quien-y-que-reutiliza-mas-agua-espana>

Lopez, J., Burgod, A., Cambeses, H., & Sánchez, D. y. (2012). *El reciclaje de agua grises como complemento a las estrategias de gestión sostenible del agua en el medio rural*. Diputación de A Coruña.

Mantilla, W. C. (2011). Políticas públicas para la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en las áreas rurales. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe*.

Marcuello, C. (9 de Julio de 2020). Jornada Técnica Online: El Reglamento Europeo de Reutilización de Aguas para Uso Agrícola. (IAGUA, Entrevistador)

Merli, G. F. (2014). *Propuesta de reutilización de las aguas residuales vertidas al estuario de Bahía Blanca*. Bahía Blanca: edUTecNe.

Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires. (2023). AMBIENTE. Obtenido de <https://www.ambiente.gba.gob.ar/>

Ministerio del Interior, O. P. (2017). *Plan Nacional de Agua Potable y Saneamiento. Cobertura Universal y Sostenibilidad de los servicios. Lineamientos y principales acciones*. Buenos Aires: 2da versión.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023). MITECO. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/planificacion-hidrologica/planes-programas-relacionados.html>

Morales, J. A. (30 de Marzo de 2020). IAGUA. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/javier-arrieta-morales/requisitos-minimos-reutilizacion-agua-consejo-union-europea> Aportes al Planeamiento Estratégico de los Sistemas Cloacales.

Mundial, B. (2021). *Argentina: Valorando el Agua*. Washington.

- Muñoz, A. H. (1995). *Depuración de Aguas Residuales*. Madrid: Servicio de publicaciones de la escuela de ingenieros de caminos de Madrid.
- Naciones Unidas. (2023). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible - Edición especial*.
- OECD iLibrary. (2020). *Gobernanza del Agua en Argentina*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- ONU. (2010). *El derecho al agua*. Suiza.
- Organización de las Naciones Unidas. (2023). *ONU*. Obtenido de <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/Goal-06/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, I. C. (2019). *No dejar a nadie atrás*. Paris: www.unwater.org.
- Orta, M. (2018). La gobernabilidad de los servicios de agua y saneamiento y los conflictos por el agua en América Latina. *Universidad Nacional de Rosario*.
- Petrecolla, D., & Ferro, G. (2003). Crisis y Respuestas: Tarifa social en agua y saneamiento en Argentina. *Centro de Estudios Económicos de la Regulación*.
- PLAN DSEAR - Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico . (2021). Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/mites/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/plan_dsear_final_tcm30-529674.pdf
- Públicas, M. d. (2021). *Informe de coyuntura sobre acceso e igualdad al agua y saneamiento*. Buenos Aires.
- Radcliffe, J. y. (2020). *Science Direct*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666445320300064>
- Ramacciotti, K. I., & Reyes, F. (2017). Los ingenieros sanitarios en la salud pública argentina entre 1870 y 1960. *TRASHUMANTE | Revista Americana de Historia Social*.
- Revista de Obras Sanitarias de la Nación. (febrero 1938 AÑO II N°8). OSN.
- Revista de Obras Sanitarias de la Nación. (julio 1942 AÑO VI N°61). OSN.
- Revista de Obras Sanitarias de la Nación. (julio 1943 AÑO VII N°73). OSN.
- Revista de Obras Sanitarias de la Nación. (junio 1942 AÑO VI N°61). OSN.
- Revista de Obras Sanitarias de la Nación. (mayo 1939 AÑO II N°23). OSN.
- Rocca, M. V. (2015). El rol de las asociaciones de usuarios en la regulación y control del servicio de agua potable y saneamiento del AMBA entre 1993-2010. *Revista Perspectiva de Políticas Públicas*.
- Sala - Garrido, R., Molinos - Senante, M., & Fuentes, R. y.-S. (Agosto de 2020). *fedea*. Obtenido de <https://documentos.fedea.net/pubs/dt/2020/dt2020-09.pdf>
- Salas, J. J. (05 de Noviembre de 2018). *IAGUA*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/lechos-bacterianos-tecnologia-robusta-pero-tanto-olvidada>
- Salgot, M. (20 de Abril de 2020). *IAGUA*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/miquel-salgot/reutilizacion-aguas-residuales-espana-realidad-o-deseo>

Solfa, F. D., & Gonzalez, A. R. (2013). El organismo de control del Agua de Buenos Aires: funcionamiento y organización territorial en perspectiva de la regionalización bonaerense. *Congreso Argentino de Administración Pública: "Liderazgo, Equidad y Sustentabilidad"*, (págs. 18-20). Mendoza.

Soluciones medioambientales y agua. (01 de Marzo de 2015). SMASA. Obtenido de <https://www.smasa.net/que-son-lechos-bacterianos/>

Theulé, C. (2016). *Análisis del posible tratamiento de aguas cloacales dulces para reúso en zonas de Chaco con estrés hídrico*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: ITBA.

Tobias, M. A. (2018). *La circulación del agua en Buenos Aires: resonancias geográficas y desigualdades socioeconómicas en el acceso al servicio*. Cuadernos de geografía: revista colombiana de geografía.

Tobias, M. A. (2019). *Conflictos y Territorios Hidrosociales en el AMBA*. Buenos Aires: CESLA. International Latin American Studies.

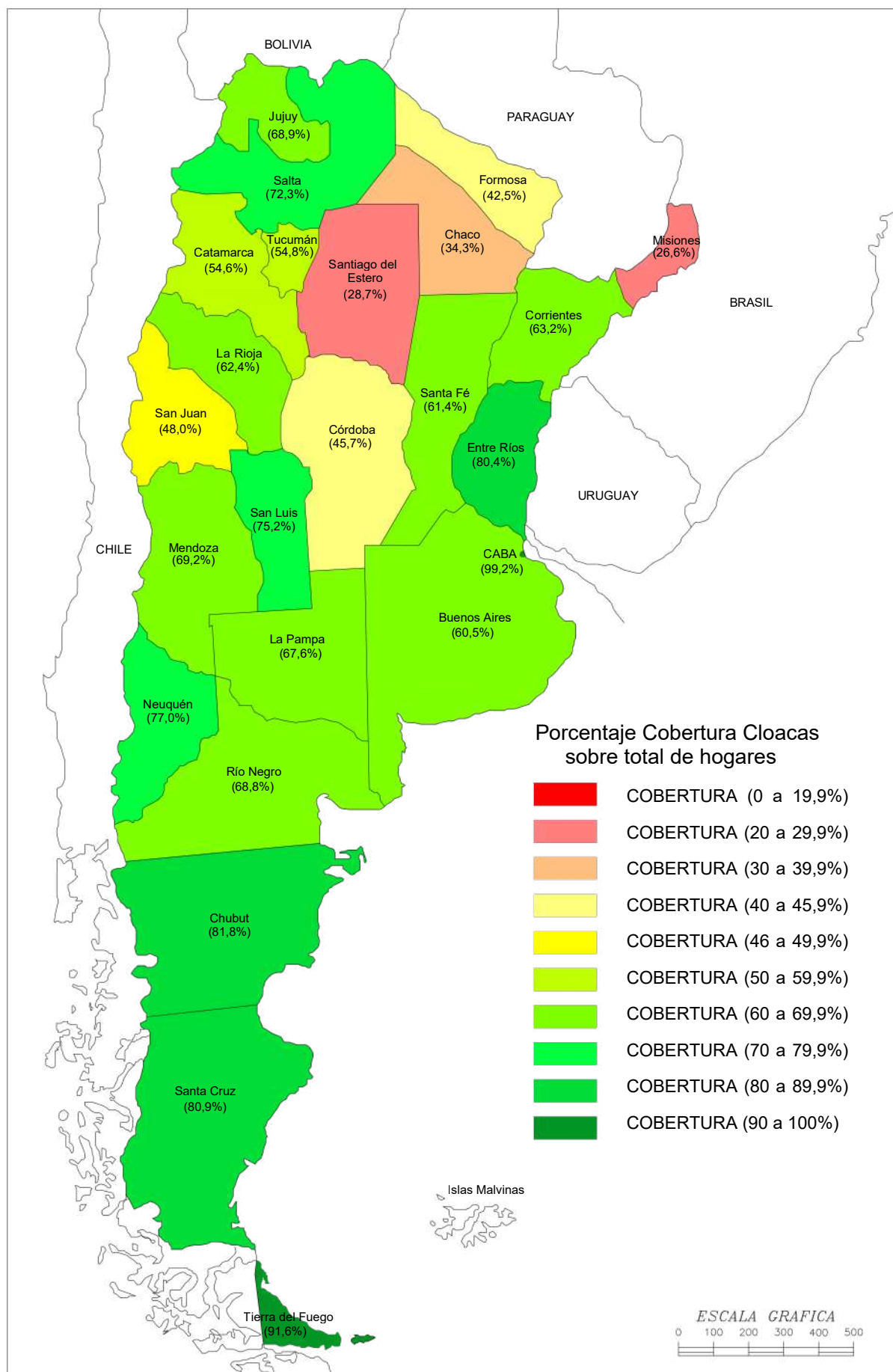
Tobias, M. A., & Merlinsky, M. G. (2020). *Pandemia, desigualdades ambientales y acceso al área en el AMBA*. Buenos Aires: Revista Sociedad.

Universitat Oberta de Catalunya. (6 de Junio de 2023). ADECAGUA. Obtenido de <https://adecagua.es/noticias/la-reutilizacion-de-aguas-regeneradas-se-convierte-en-una-opcion-para-enfrentar-la-sequia>

World Health Organization. (2014). *Preventing Diarrhoea through better water, sanitation and hygiene*. Geneva.

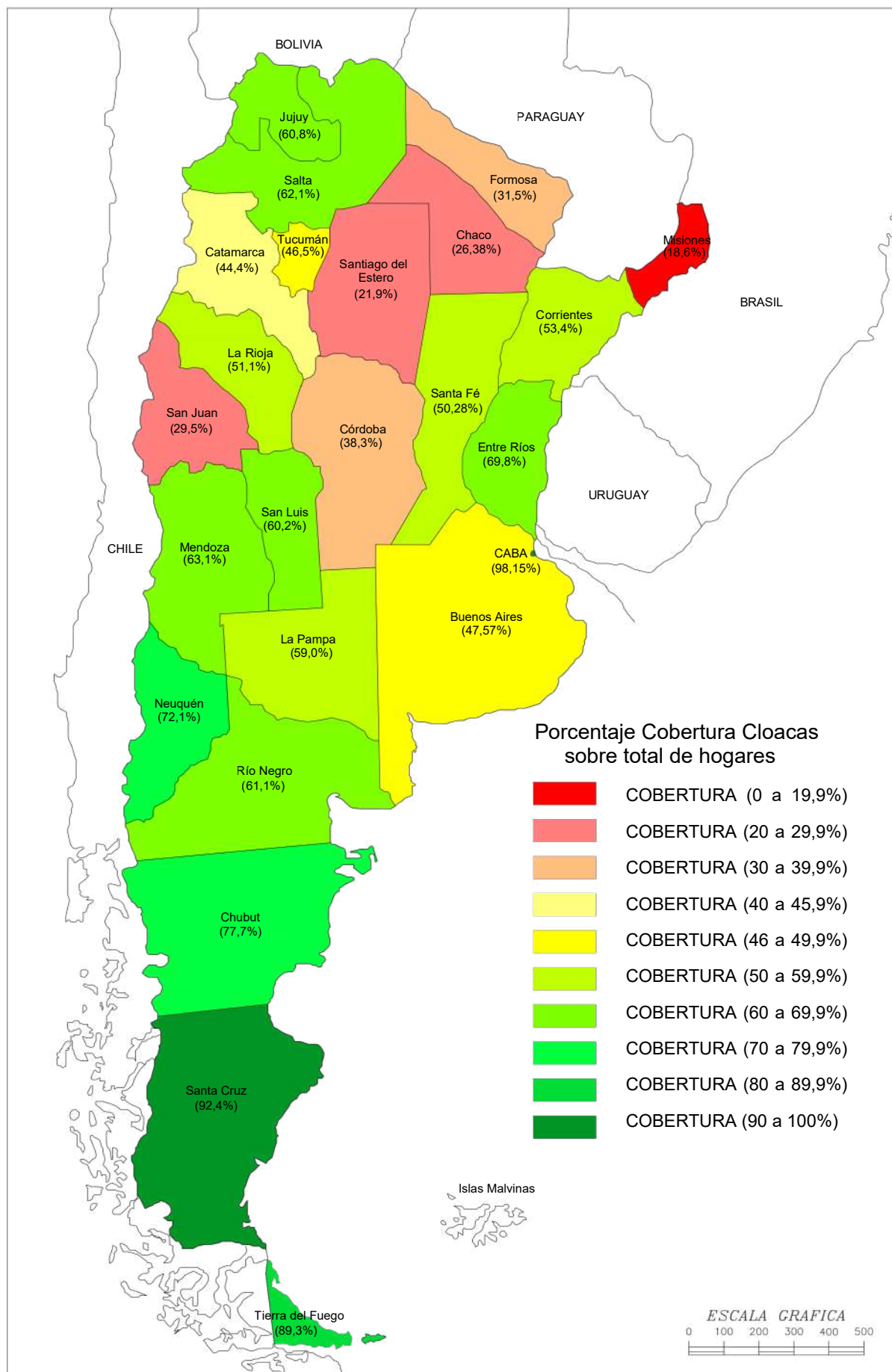
ANEXO 1

PORCENTAJE COBERTURA CLOACAL - CENSO 2022



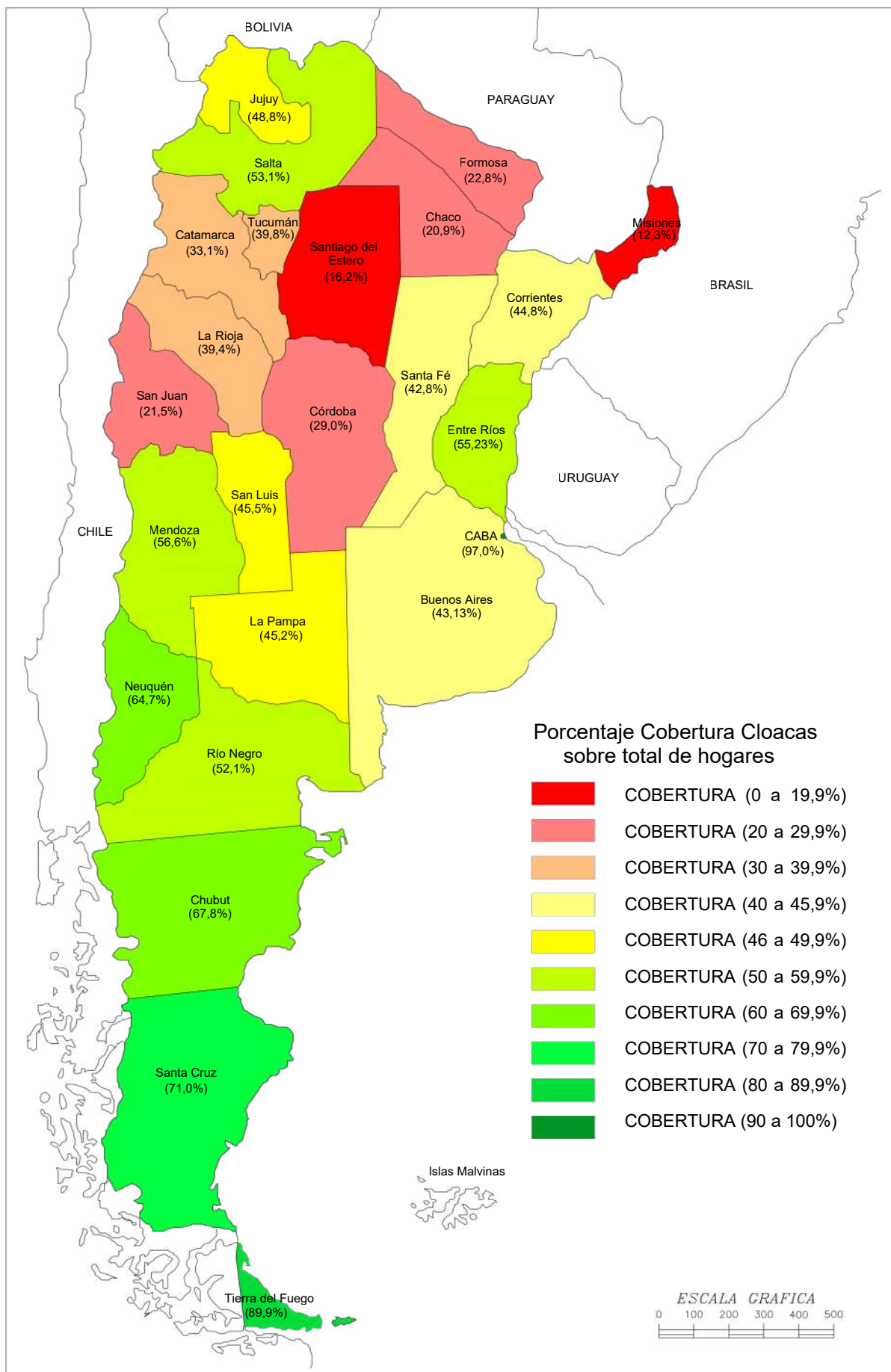
ANEXO 1

PORCENTAJE COBERTURA CLOACAL - CENSO 2010



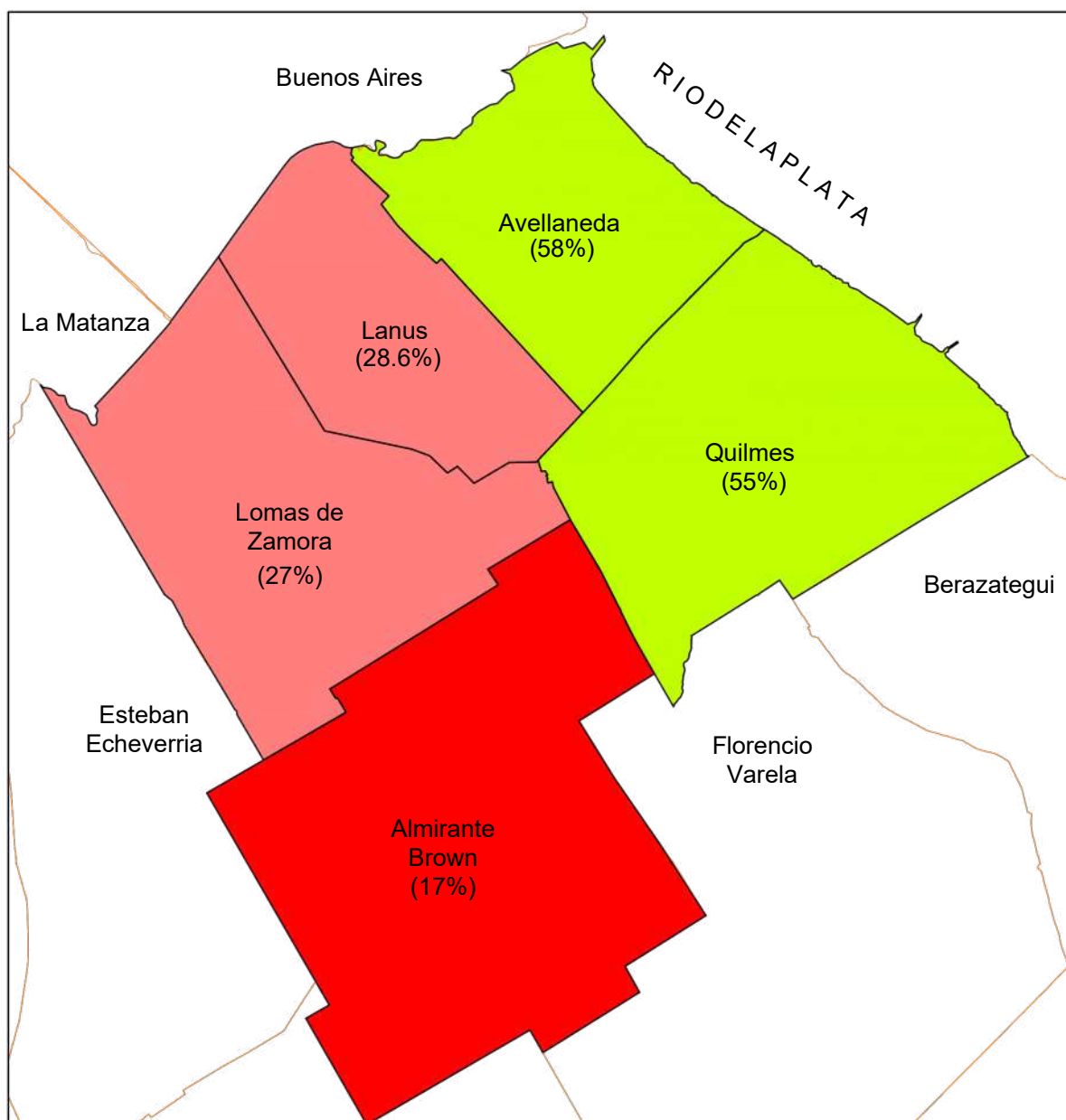
ANEXO 1

PORCENTAJE COBERTURA CLOACAL - CENSO 2001



ANEXO 2

AREA DE ESTUDIO PORCENTAJE COBERTURA CLOACAL - CENSO 2001

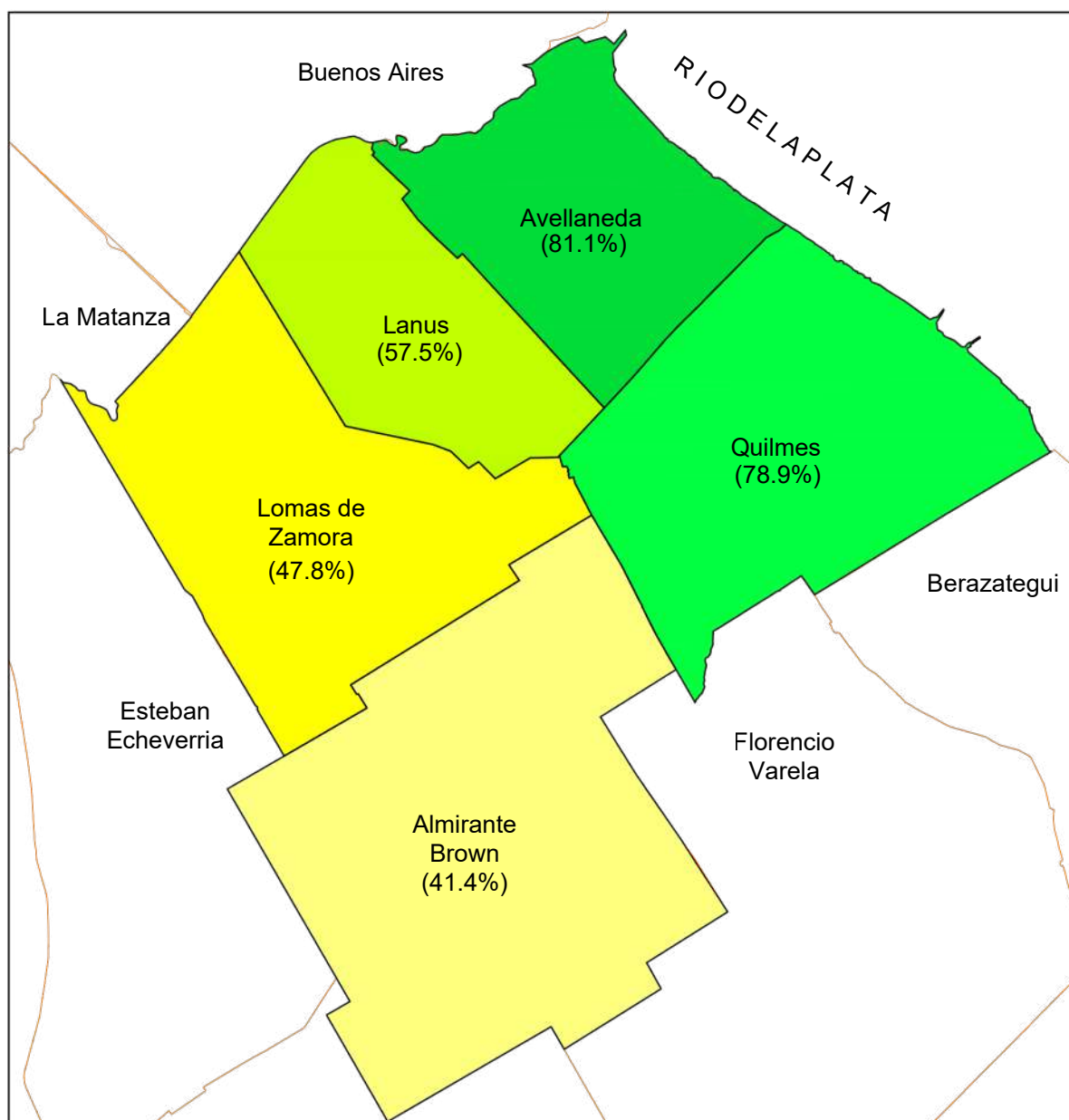


Porcentaje Cobertura Cloacas sobre población

	COBERTURA (0 a 19,9%)
	COBERTURA (20 a 29,9%)
	COBERTURA (30 a 39,9%)
	COBERTURA (40 a 45,9%)
	COBERTURA (46 a 49,9%)
	COBERTURA (50 a 59,9%)
	COBERTURA (60 a 69,9%)
	COBERTURA (70 a 79,9%)
	COBERTURA (80 a 89,9%)
	COBERTURA (90 a 100%)

ANEXO 2

AREA DE ESTUDIO PORCENTAJE COBERTURA CLOACAL - CENSO 2022

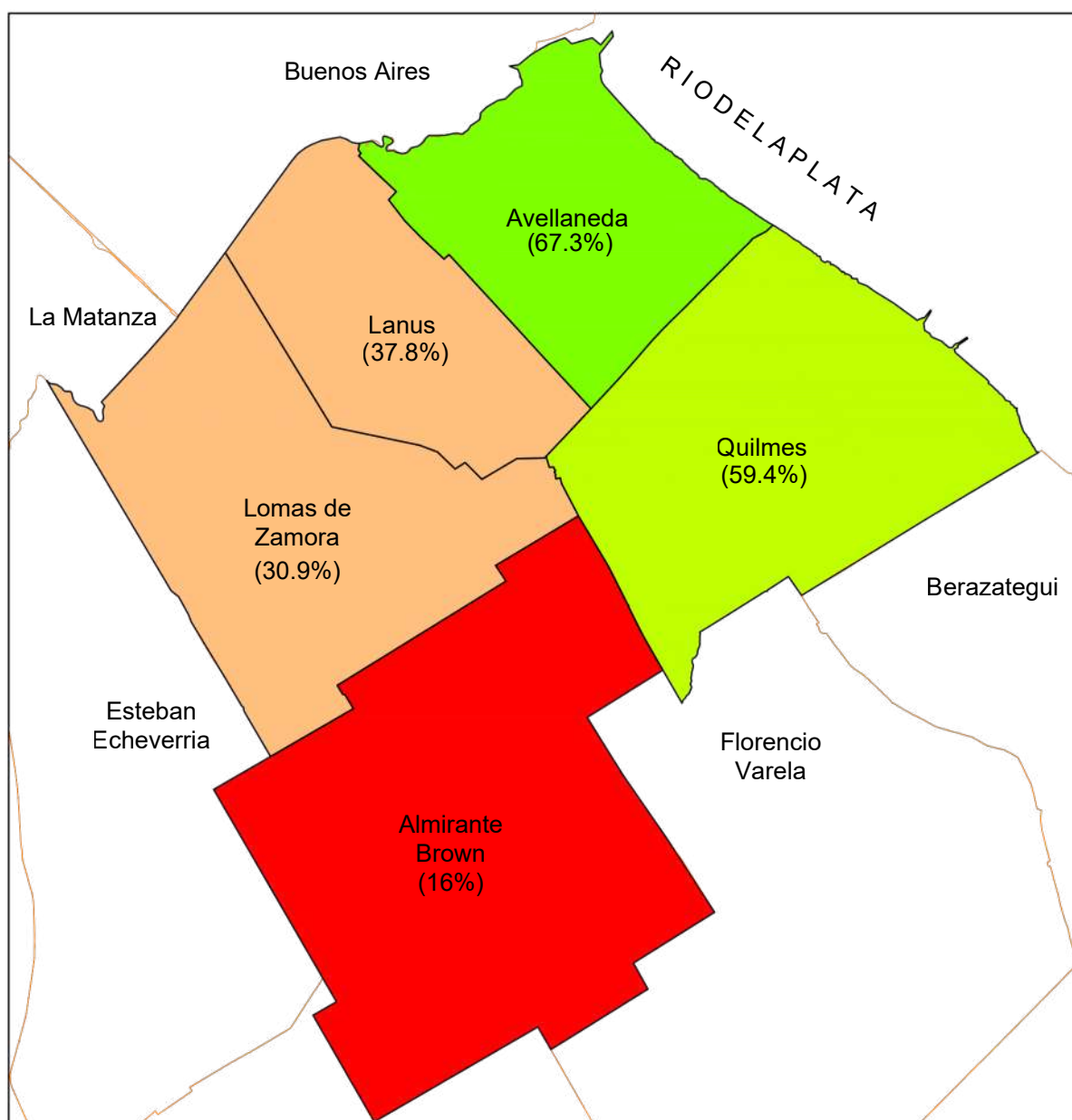


Porcentaje Cobertura Cloacas sobre población

	COBERTURA (0 a 19,9%)
	COBERTURA (20 a 29,9%)
	COBERTURA (30 a 39,9%)
	COBERTURA (40 a 45,9%)
	COBERTURA (46 a 49,9%)
	COBERTURA (50 a 59,9%)
	COBERTURA (60 a 69,9%)
	COBERTURA (70 a 79,9%)
	COBERTURA (80 a 89,9%)
	COBERTURA (90 a 100%)

ANEXO 2

AREA DE ESTUDIO PORCENTAJE COBERTURA CLOACAL - CENSO 2010



Porcentaje Cobertura Cloacas sobre población

	COBERTURA (0 a 19,9%)
	COBERTURA (20 a 29,9%)
	COBERTURA (30 a 39,9%)
	COBERTURA (40 a 45,9%)
	COBERTURA (46 a 49,9%)
	COBERTURA (50 a 59,9%)
	COBERTURA (60 a 69,9%)
	COBERTURA (70 a 79,9%)
	COBERTURA (80 a 89,9%)
	COBERTURA (90 a 100%)

FLORES

- REFERENCIAS LANÚS**
- Área de Recolección de 3° Cloaca Máxima por gravedad
 - Área de Recolección de 3° Cloaca Máxima a impulsión por EBC
 - Área de Recolección de ZG 28 Magdalena por gravedad
 - Área de Recolección de ZG 28 Magdalena a impulsión por EBC
 - Área de Recolección de ZS 37 Avellaneda Este por gravedad
 - Área de Recolección de ZS 37 Avellaneda Este a impulsión por EBC
 - Área de Recolección de Planta Depuradora Lanús
 - 3° Cloaca Máxima

CONSTITUCION

REFERENCIAS AVELLANEDA

- Área de Recolección de 1° Cloaca Máxima por gravedad
- Área de Recolección de 1° Cloaca Máxima a impulsión por EBC
- Área de Recolección de 2° Cloaca Máxima por gravedad
- Área de Recolección de 2° Cloaca Máxima a impulsión por EBC
- Área de Recolección de 3° Cloaca Máxima por gravedad
- Área de Recolección de 3° Cloaca Máxima a impulsión por EBC
- Área de Recolección de ZS 37 Avellaneda Este por gravedad
- Área de Recolección de ZS 37 Avellaneda Este a impulsión por EBC
- Área de Recolección de ZS 90 Rural Avellaneda por gravedad
- Área de Recolección de ZS 90 Rural Avellaneda a impulsión por EBC
- 1° Cloaca Máxima
- 2° Cloaca Máxima
- 3° Cloaca Máxima
- 4° Cloaca Máxima

LA MATANZA SUR

REFERENCIAS LOMAS DE ZAMORA

- Área de Recolección de ZG 28 Magdalena por gravedad
- Área de Recolección de ZG 28 Magdalena a impulsión por EBC
- Área de Recolección de ZS 37 Avellaneda Este por gravedad
- Área de Recolección de ZS 37 Avellaneda Este a impulsión por EBC
- Área de Recolección de Planta Depuradora Fiorito

LOMAS DE ZAMORA

ESTEBAN ECHEVERRÍA

REFERENCIAS ALTE. BROWN

- Área de Recolección de ZG 28 Magdalena por gravedad
- Área de Recolección de ZG 28 Magdalena a impulsión por EBC
- Área de Recolección de ZS 37 Avellaneda Este por gravedad
- Área de Recolección de ZS 37 Avellaneda Este a impulsión por EBC

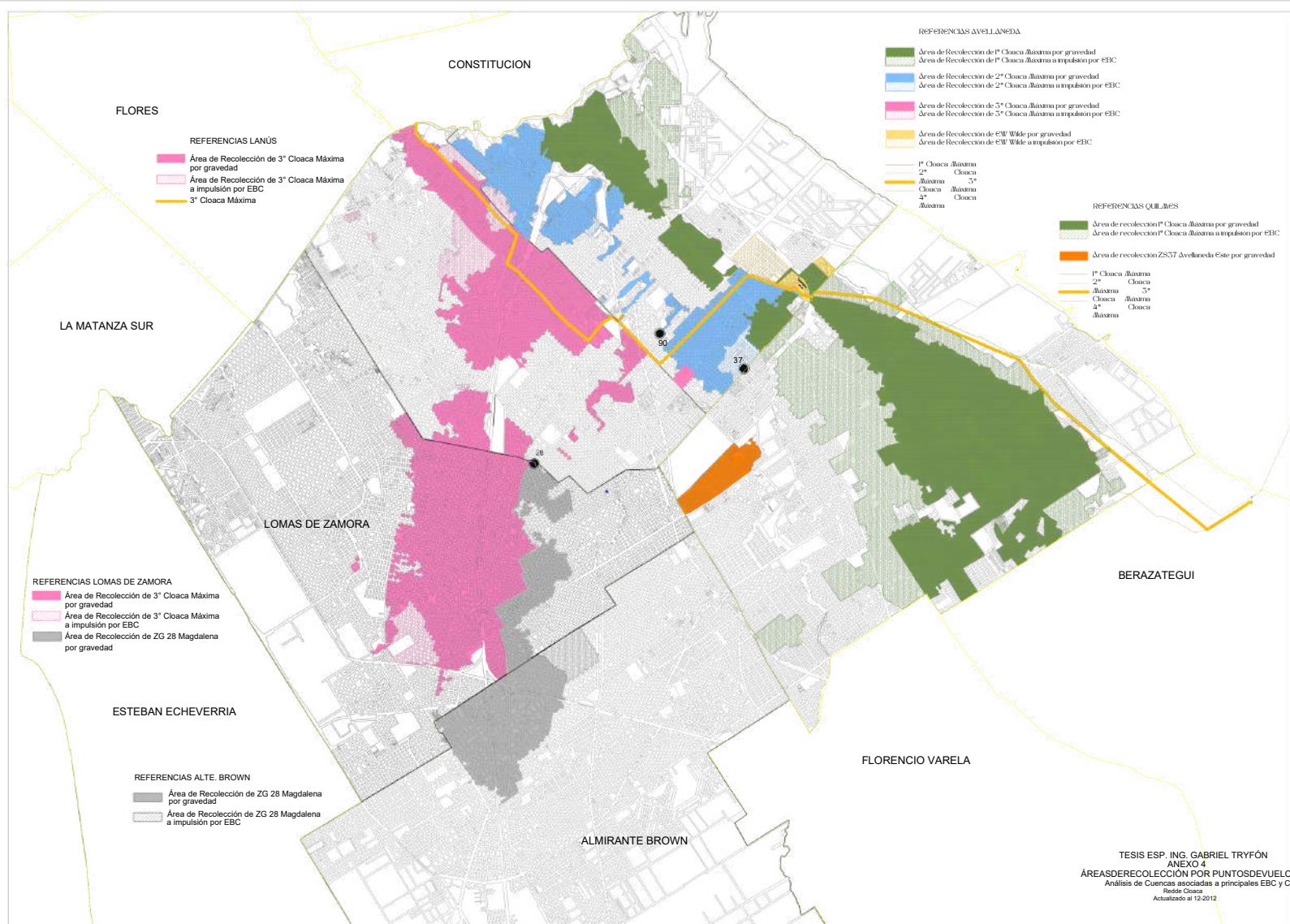
ALMIRANTE BROWN

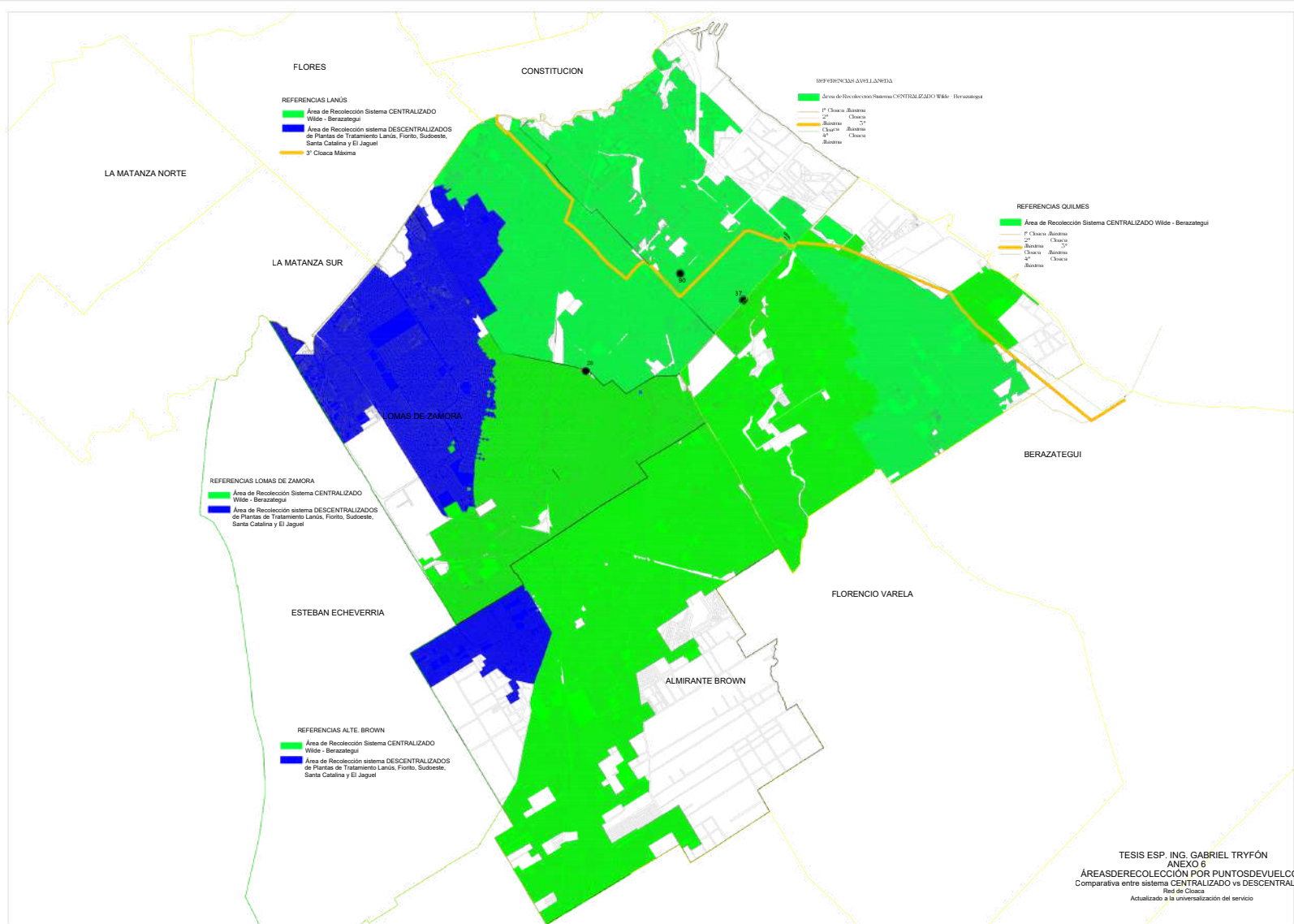
FLORENCIO VARELA

BERAZATEGUI

REFERENCIAS QUILMES

- Área de Recolección de 1° Cloaca Máxima por gravedad
- Área de Recolección de 1° Cloaca Máxima a impulsión por EBC
- Área de Recolección de ZS 37 Avellaneda Este por gravedad
- Área de Recolección de ZS 37 Avellaneda Este a impulsión por EBC
- 1° Cloaca Máxima
- 2° Cloaca Máxima
- 3° Cloaca Máxima
- 4° Cloaca Máxima





TESIS III

METODOLOGÍA DE GESTIÓN PÚBLICA LOCAL PARA AGILIZAR
EL DESPLIEGUE DE ANTENAS DE TELECOMUNICACIONES TIPO
SMALL CELL

Caso de estudio: Municipalidad de San Miguel, Provincia de
Buenos Aires, Argentina

Tesista: Ing. Juan Sebastián Pérez Gutiérrez

Director de Tesis: Mg. Ing. Eduardo Antonio Vidal



RESUMEN

Mediante esta tesis, se desarrolló una herramienta de planificación territorial del despliegue de infraestructura de telecomunicaciones, específicamente antenas tipo Small Cells, fundamentales para 5G, donde a través de un tablero de control georreferenciado y con base en los determinantes de planificación urbana y redes de infraestructura propios de cada municipio, se calcula la ubicación aproximada de sitios donde deberían desplegarse Small Cells por defecto en el mobiliario urbano, con la finalidad de reemplazar los largos procesos que tradicionalmente han tenido que hacer los operadores para obtener permisos de construcción y licencias de las autoridades locales, idealmente, los operadores no deberían tramitar tantos permisos ante autoridades locales para instalar small cells. Se ofrece esta alternativa innovadora con el fin de: i) Optimizar la gestión pública facilitando el trabajo de las autoridades de planeación locales y reduciendo el número de interacciones; ii) Incentivar la inversión en infraestructura, la competencia entre operadores, maximizar el bienestar social y reducir la brecha digital; iii) Aplicar innovación en la planificación urbana, con el fin de propiciar el surgimiento de Smart Cities en Latinoamérica. La herramienta es replicable a cualquier municipio, para esta tesis se selecciona como caso de análisis la municipalidad de San Miguel en Buenos Aires, Argentina

Palabras Clave: Infraestructura de Telecomunicaciones, Antenas Small Cell, Planificación Urbana, Sistemas de Información Geográfica, Ecosistema Govtech, Brecha Digital

ABSTRACT

Through this thesis, a territorial planning tool was developed for the deployment of telecommunications infrastructure, specifically antennas Small cells-type, fundamental for 5G. Via a georeferenced control panel, the approximate location of sites where Small Cells should be deployed by default in urban furniture is calculated, based on the determinants of urban planning and infrastructure networks of each municipality, with the purpose of replacing the long processes operators have had traditionally to do in order to obtain construction permits and licenses from local authorities. Ideally operators should not apply for too many permissions from local authorities to install Small cells. I want to offer this innovative govtech alternative in order to: i) Optimize public management by facilitating the work of local planning authorities and reducing the number of interactions; ii) Encourage investment in infrastructure, competition between operators, maximize social welfare and reduce the digital divide; iii) Implement innovation in planning, in order to promote the emergence of Smart Cities in Latin America. The tool is replicable to any municipality. For this thesis, the municipality of San Miguel in Buenos Aires, Argentina is selected as case of analysis.

Key words: Telecommunications Infrastructure, Small Cell Antennas, Planning, Geographic Information Systems, Govtech Ecosystem, Digital Divide

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el acceso a las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se ha convertido en parte fundamental del desarrollo económico y social de las naciones, América Latina ha avanzado significativamente en términos del desarrollo de su infraestructura digital. Sin embargo, es válido preguntarse si el ecosistema digital de la región, está preparado para afrontar el desafío que planteó la pandemia y los retos de la post pandemia. Según el World Economic Forum (2014), han sido necesarias menos de dos décadas para que Internet comercial pasara de la innovación a lo indispensable, de la diversión a lo fundamental. Aproximadamente 2.500 millones de personas estaban conectadas a Internet en 2014, un tercio de la población mundial; en el año 2020 hay unos 4 mil millones de usuarios, más de la mitad de la población mundial. El acceso continuo a la información, el comercio, la comunicación, las relaciones y el entretenimiento, entre muchas otras cosas, se ha convertido en un hecho cotidiano para miles de millones y en los años por venir se convertirá en una realidad para miles de millones más.

La infraestructura de telecomunicaciones es crítica para soportar el accionar económico y social de hoy en día. Es una infraestructura robusta, innovadora y cambiante. El acceso a ella, al internet, a los servicios de telecomunicaciones y las tecnologías de la información es un derecho humano que permite habilitar el ejercicio de otros derechos fundamentales como la salud, la educación, la cultura, la seguridad, la libertad de expresión, la movilidad, entre otros. Para la Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL (2020), es una infraestructura estratégica, porque en situaciones críticas como la que se enfrentó contra el COVID-19 preserva el ejercicio de estos derechos y es el mejor aliado de los gobiernos y la sociedad para mantener la economía.

Para el Banco Interamericano de Desarrollo – BID (2020), las telecomunicaciones, a partir de la digitalización y la aparición de internet, han experimentado grandes avances y transformaciones, por lo tanto, los servicios típicos prestados por redes independientes (telefonía móvil, telefonía fija, televisión e internet), que justificaban la existencia de regulaciones independientes por tipo de servicio, ahora se prestan de manera convergente por la misma red y pueden ser usados por los usuarios a través de múltiples tipos de acceso, razón por la cual, aquellas fronteras de servicio tan simples de definir hasta la última década del siglo pasado, ahora prácticamente desaparecen gracias a los avances tecnológicos.

El problema comienza cuando la realidad para la cual se crearon las regulaciones y las normativas municipales, evoluciona, y es tan rápida tal evolución, que hace imposible para

las administraciones locales poder reaccionar a tiempo, no solo por la misma dinámica del mercado y de la tecnología, sino también porque no existen antecedentes que permitan definir con plena certeza, cual es el modelo de intervención normativa para la infraestructura digital, y específicamente como objeto de interés de esta investigación, la gestión municipal para agilizar el despliegue de antenas de telecomunicaciones tipo small cells, fundamentales para 5G, que es parte de la columna vertebral sobre la que se desarrolla el ecosistema digital. Los gobiernos se enfrentan al reto de poder aplicar ciencia, innovación y tecnología para optimizar su gestión, con el fin de mejorar los servicios prestados y la calidad de vida de los ciudadanos.

En la experiencia profesional del autor de esta tesis, resulta paradójico que desde las administraciones locales, los procedimientos que habilitan el despliegue de los elementos críticos que nos permiten estar conectados y acceder a conocimiento y tecnología se haga de maneras análogas y anacrónicas, y no se use en lo más mínimo tecnología para agilizar el despliegue de las antenas que permiten la conectividad y consecuentemente el crecimiento económico.

Para incentivar la inversión en infraestructura y garantizar el adecuado disfrute por parte de los ciudadanos, los gobiernos latinoamericanos deberían centrar esfuerzos en incentivar a las administraciones locales para que participen activamente en la planificación del despliegue de infraestructura, ya que actualmente se perciben como potenciadores de la brecha digital, al limitar, demorar y, en algunas ocasiones, prohibir el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones; en algunos municipios un solo permiso puede tardar 12, 18, 24 meses o más.

Justificación:

Las redes de telecomunicaciones están pasando de la cuarta generación (4G) a la quinta generación (5G). Actualmente, la mayor parte de las instalaciones de redes móviles 4G están basadas en macrocélulas, que cubren típicamente entre 1-2 km en áreas urbanas y requieren estructuras altas y masivas. Por otro lado, la tecnología 5G requiere un uso del suelo más intensivo con small cells de coberturas típicas de pocos cientos de metros, con infraestructura de mínimo impacto visual. Es decir, una antena 4G podría requerir remplazarse por 4, 10, o hasta 20 antenas small cell; por lo cual es insostenible continuar con trámites para el despliegue tan largos y engorrosos, hay que proponer alternativas innovadoras que faciliten el despliegue y que puedan ayudar a reducir la brecha digital.

Mediante esta investigación, se pretendió desarrollar una herramienta de planificación territorial del despliegue de antenas tipo small cell, fundamentales para 5G y consecuentemente con la recuperación económica tras el COVID 19, donde a través de un tablero de control georreferenciado y con base en las determinantes de planificación propias de cada municipio, se calcula la ubicación aproximada de sitios donde deberían

desplegarse small cells por defecto en el mobiliario urbano, sin que los operadores debieran tramitar ningún permiso ante autoridades locales. Esta tesis tiene como fin último reducir el tiempo requerido para desplegar una antena, que sean días o semanas, en vez de meses o años.

No se pretende ofrecer un modelo de planificación de redes de telecomunicaciones, sino un puente entre las administraciones locales y los operadores de telecomunicaciones. La herramienta que ofrece esta tesis tiene el fin de: i) Optimizar la gestión pública facilitando el trabajo de las autoridades de planeación locales y reduciendo el número de interacciones; ii) Incentivar la inversión en infraestructura, la competencia entre operadores, maximizar el bienestar social y reducir la brecha digital; iii) Aplicar innovación en la planificación urbana, con el fin de propiciar el surgimiento de Smart Cities en Latinoamérica. La herramienta es replicable a cualquier municipio, para esta tesis se selecciona como caso de análisis la municipalidad de San Miguel en Buenos Aires, Argentina.

Hipótesis

Con base en los radios de cobertura típicos de small cells, las características propias de cada localidad y los determinantes de planificación urbana de cada municipio, se pueden estimar las ubicaciones donde deberían ser instaladas antenas tipo small cells, de esta manera los gobiernos locales podrían asumir un rol proactivo en la planificación del despliegue de infraestructura de telecomunicaciones, con el fin de generar acceso universal a las últimas tecnologías y reducir la brecha digital.

Objetivo General

Plantear una herramienta que permita estimar las ubicaciones donde deberían ser instaladas antenas tipo small cell, fundamentales para 5G, con base en los determinantes propios de planificación urbana de cada municipio, con el fin de respaldar a los gobiernos locales para que puedan asumir un rol proactivo en la planificación del despliegue de infraestructura de telecomunicaciones en sus territorios.

DESARROLLO DE LA TESIS

1. Marco Teórico

En el primer capítulo “Estado de la Cuestión”, con el fin de facilitar la comprensión de esta tesis, se abordan conceptos y cambios tecnológicos en las telecomunicaciones móviles y su contexto normativo. En el segundo capítulo “Telecomunicaciones en el Siglo XXI”, se abordan elementos fundamentales hoy en día para las telecomunicaciones en el marco de la gestión pública: brecha digital, Objetivos de Desarrollo Sostenible, Covid-19, Ecosistema

Govtech, y Sistemas de Información Geográficos. En el tercer capítulo “Requerimientos y tendencias en Infraestructura de Telecomunicaciones con visión a futuro”, se aborda la evolución de infraestructuras urbanas, las nuevas tendencias y requerimientos a corto plazo, y se resalta la importancia de construir puentes entre el mercado de las telecomunicaciones y las administraciones locales, para lo cual se propone un modelo para agilizar el despliegue en el que los municipios proponen puntos pre aprobados para instalar antenas en el mobiliario urbano.

En el cuarto capítulo “Metodología Propuesta y su Aplicación en la Municipalidad de San Miguel”, se entra de lleno en la ejecución del modelo propuesto en el capítulo anterior. Se describe el municipio, se hace un relevamiento de los diferentes mapas de infraestructuras y determinantes de planificación a emplear para estimar los sitios donde instalar antenas, se dividen en diferentes categorías de condicionantes, y se aplica el método en el municipio. Posteriormente se hace el análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones.

2. Modelo Propuesto

Basado en el estado del arte y de la industria, se formula esta propuesta para poder agilizar el despliegue de antenas tipo Small Cell, de mínimo impacto visual, y facilitar que las TIC lleguen a los diversos sectores socioeconómicos, con énfasis en los sectores más propensos a caer en los diversos tipos de brecha digital (sectores más pobres, con menos educación, grupos minoritarios, áreas aisladas, ruralidad, entre otros), donde el mercado se ve menos incentivado a invertir y desplegar infraestructura.

A medida que la revisión de bibliografía para esta investigación fue avanzando, fue apareciendo el estado del arte (especialmente multilaterales y la UIT), las iniciativas govtech, los SIG como herramienta de planificación, y también experiencias en despliegue en otras partes del mundo y la dirección que va tomando esta industria; fue imperativo hacer una propuesta para que Latinoamérica también pueda desplegar infraestructura de punta con el fin de ayudar a cerrar la brecha digital.

El despliegue de infraestructura de telecomunicaciones se ha realizado tradicionalmente de acuerdo con la dinámica del mercado, debido al rol pasivo que asumieron las administraciones locales, limitándose solamente a aprobar o denegar permisos de construcción de antenas (en procesos que demoran varios meses o años) según las solicitudes de las empresas de telecomunicaciones. Por ello, las empresas de telecomunicaciones tienden a desplegar infraestructura solo en las zonas más ricas de las ciudades porque es altamente rentable y esperan hasta obtener los permisos, por otro lado, en las zonas más pobres ocurre lo contrario. Por tanto, con este modelo anacrónico, las administraciones locales han contribuido de manera involuntaria a ampliar la brecha digital.

Esta tesis postula que, la combinación de la planificación municipal más el mercado de las telecomunicaciones podría acelerar el despliegue de la infraestructura.

Las administraciones locales pueden planificar a través de un sistema de información geográfico los lugares donde se deben instalar las antenas small cell en el mobiliario urbano, idealmente sin ningún tipo de permiso para incentivar las inversiones, con el fin de acelerar el despliegue de la infraestructura y cerrar la brecha digital. Esta tesis tiene un enfoque exploratorio, respondiendo a una necesidad no identificada y ofrece un nuevo servicio para solucionarla.

Para generar el modelo se utilizan diferentes tipos de datos georreferenciados: cobertura típica de small cells, espectro radioeléctrico en uso, densidad poblacional, uso del suelo, topografía, tejido urbano, jerarquía de carreteras, bici-rutas, rutas y paradas de sistemas de transporte público, fibra óptica (instalada o proyectada), mobiliario urbano (postes, semáforos, estaciones de bus), red de energía eléctrica, entre otros.

Esta solución disruptiva pretende ser un procedimiento win-win, en el que ciudadanos, empresas de infraestructura de telecomunicaciones (incluyendo a operadores convencionales y de redes neutras), y administraciones locales obtienen beneficios sin perjuicio para ninguno de ellos. Hay que imaginar el panorama a 5 o 10 años, para los grandes requerimientos de ancho de banda, latencia, y cantidad de equipos conectados, van a ser necesarias muchas más antenas. Una antena de 4G será remplazada por aproximadamente 10 antenas en 5G, y será necesario desplegarlas fácilmente y con control. Esta tesis propone una solución que podría facilitar ese despliegue, quizás no ahora, pero con la vertiginosa evolución de este tipo de infraestructuras, puede que el momento no tarde en llegar.

Se resalta que se tiene el objetivo que todos ganen, por supuesto también están incluidos los operadores, por eso un input fundamental para el modelo que se propone, es el mapa con las redes de fibra óptica (construidas y proyectadas), para que a los operadores les sea muy fácil instalar donde ya tienen o proyectan sus redes. Además, sería importante incluir un radio de tolerancia del sitio planificado por el municipio de unos 20 o 30 m, para que haya cierta flexibilidad para que el operador se instale.

En muchos casos el despliegue de las redes de small cells también contempla su instalación en predios privados mediante la contratación de espacios de alquiler en terrenos, terrazas, marquesinas, entre otras; si bien las empresas de telecomunicaciones pueden destrabar la contratación de estos sitios, luego se pueden encontrar con trabas provenientes de negativas de vecinos, condicionantes municipales por habilitaciones muy burocráticas, reglamentaciones que compliquen el tendido de redes para alimentarlas, entre otras dificultades. Con base en esos inconvenientes instalando antenas en predios privados, se delimita en lo posible que las antenas se puedan instalar en mobiliario urbano público. También se delimita la tesis solamente a small cells, debido al mínimo impacto visual que

tienen, pues son pequeñas y livianas, se camuflan fácilmente con el mobiliario urbano, pueden ser fácilmente soportadas e instaladas, y pasan desapercibidas, lo que ayuda a evitar inconvenientes con los vecinos. Debido a lo anterior, es factible eliminar o al menos reducir la cantidad de permisos exigidos a este tipo de antenas a desplegar en mobiliario urbano.

3. ¿Que pretende el Modelo?

En el modelo de despliegue tradicional los operadores detectan demanda en alguna ubicación geográfica, hacen su estudio interno, luego buscan alternativas de sitios, y finalmente proceden a solicitar los permisos en gobiernos locales, que suele ser el paso que tarda varios meses, e incluso años. El esquema de este tipo de despliegue se muestra en la Figura 1.

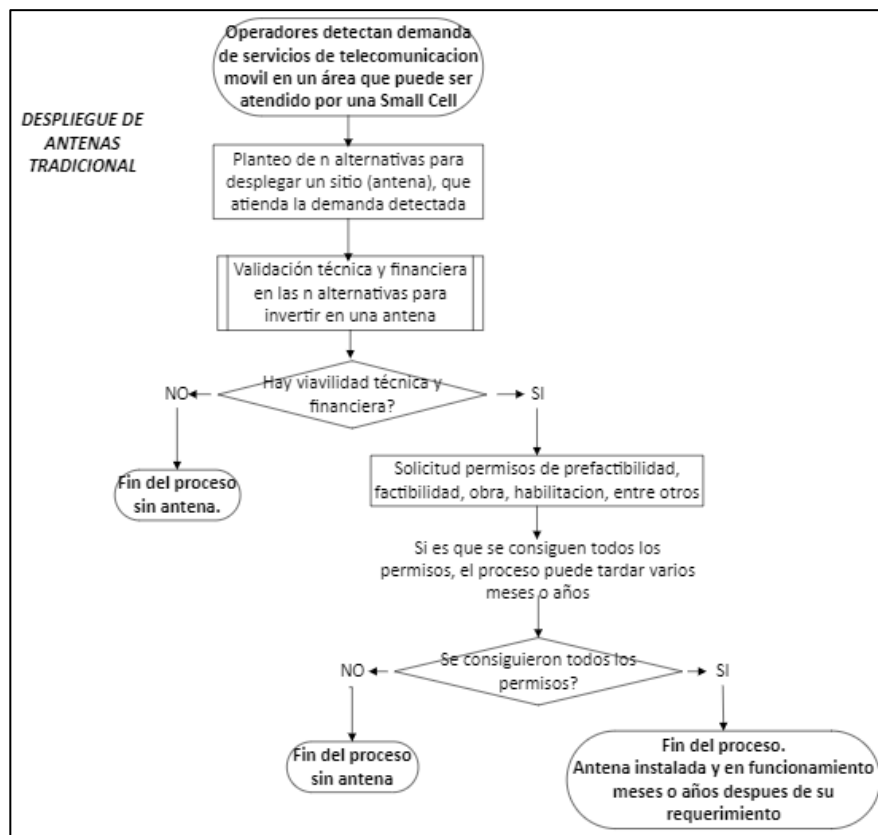


Figura 1 Despliegue de Antenas Tradicional. Fuente: Elaboración propia

En el nuevo enfoque que propone esta tesis, el municipio ofrece una “nube de puntos” georreferenciada en su territorio, donde tiene planificado que se instale una antena small cell de mínimo impacto visual, con una tolerancia de 20m o 30m. Por su lado los operadores

(MNO, ISP o neutros) detectan demandas de servicio en ubicaciones de la ciudad, pasan a validar con la nube de puntos georreferenciada del municipio si alguno de los puntos que propone el municipio funciona para sus requerimientos. Si así es, se instalan en un punto previamente planificado por la municipalidad, evitando gran cantidad de trámites y ahorrando tiempo y costo de oportunidad. Si por otro lado, ninguno de los sitios propuestos por la municipalidad le sirve al operador, hace el trámite normal para instalar una antena. Se muestra el esquema propuesto en la Figura 2.

Debe ser claro que el modelo propuesto no debe considerarse exactamente como un modelo de planificación de telecomunicaciones, sino una herramienta que construye un puente entre la administración pública y las compañías relacionadas a la prestación de servicios de telecomunicación móvil y FWA. Con el fin de agilizar la instalación de antenas, e incentivar su despliegue en zonas de diversos estratos socioeconómicos, debido a la simpleza del proceso, se propone que los municipios sean proactivos planificando, en vez de su rol convencional reactivo a la solicitud de los operadores.

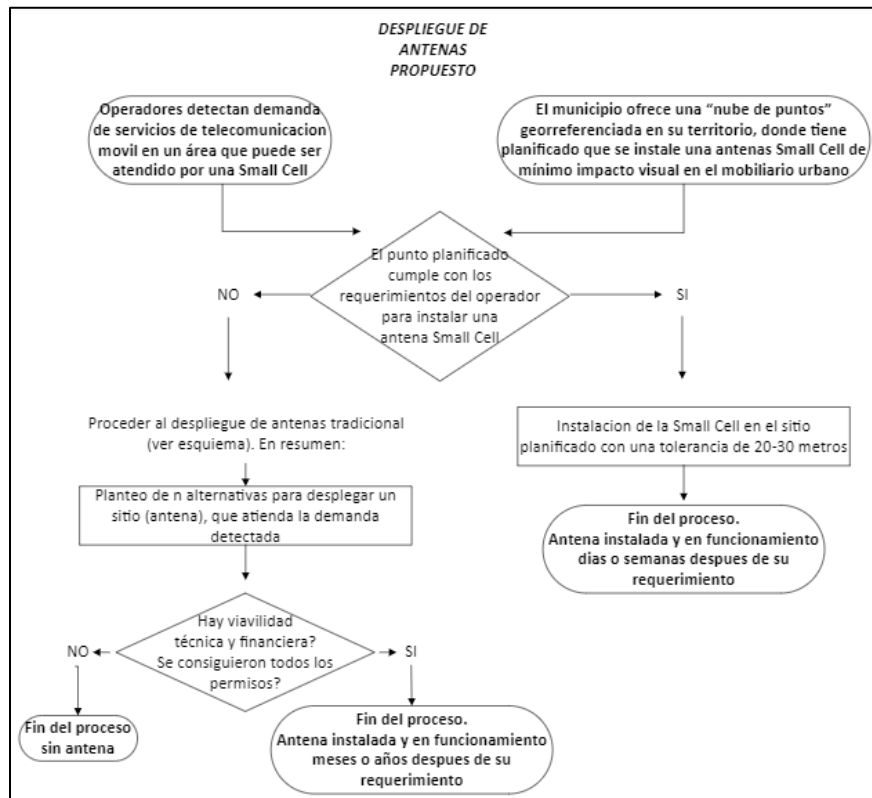


Figura 2 Despliegue de Antenas Propuesto. Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, la manera de materializar lo propuesto es mediante la aplicación de un modelo multicriterio servido por variables dependientes e independientes (determinantes de planificación urbana y redes de infraestructura propios de cada municipio), y procesado a

través de un sistema de información geográfico, con el fin de ofrecer las localizaciones óptimas para el emplazamiento de las antenas de tipo small cell en un municipio o ciudad, que se representan como una “nube de puntos”.

Como resultado final de la aplicación de este modelo en condiciones reales, se pretende obtener un tablero de control con los sitios planificados para instalar small cells en un municipio. Un tablero geográfico de control es un recurso web de monitoreo, que consume capas que provienen de una instancia anterior de generación de mapa, que implican geoprocursos con el uso de herramientas de clasificación y análisis de los determinantes de planificación urbana y redes de infraestructura propios del municipio de San Miguel, Caso de Análisis de esta tesis. Para el alcance de esta tesis se llegará hasta la instancia de generación de mapa con sitios planificados para la instalación de small cells, que es la información base para montar el tablero de control, que por su característica de ser un recurso web queda por fuera del alcance de esta maestría.

Para la aplicación de la metodología de gestión pública local para agilizar el despliegue de antenas de telecomunicaciones tipo small cell en un municipio se deben seguir una serie de pasos metodológicos. En primer lugar, se debe realizar la descripción general del municipio y su sector de telecomunicaciones, lo que implica el análisis de la normativa para el despliegue de antenas y su estructura soporte, análisis de antenas (macro cells y small cells) y fibra óptica desplegada.

Paso a seguir, se buscan, revisan y analizan los mapas de infraestructura y determinantes de planificación del municipio, y posteriormente se montan en diferentes capas en el sistema de información geográfico, determinando que mapas e información se va a considerar en la planificación de las small cell, y que información no será considerada. Además se revisa información censal para calcular la población a servir y como está distribuida.

En la figura 3 se presenta el esquema con los pasos para la aplicación del modelo propuesto en un municipio o ciudad, en este caso ya se indican los mapas e información se va a considerar y cual no para el Caso de Análisis, el municipio de San Miguel.

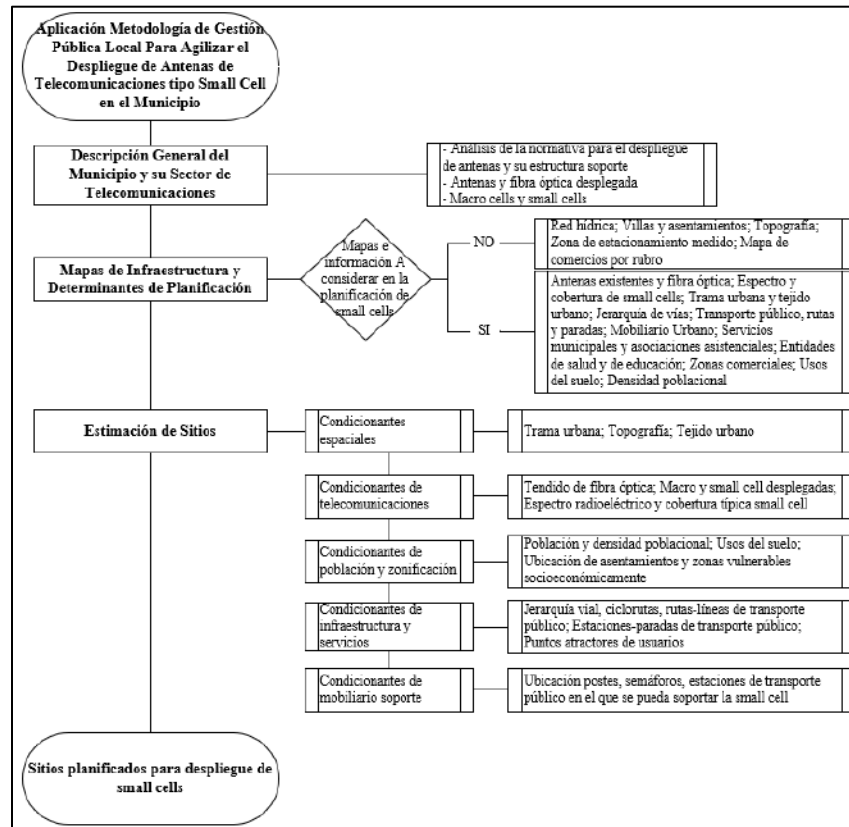


Figura 3 Pasos para la aplicación del modelo propuesto en un municipio o ciudad. Fuente: elaboración propia.

Con la información montada, se procede a agruparla en 5 categorías de condicionantes con el fin de estimar la ubicación aproximada de los sitios donde deberían instalarse antenas tipo small cell: i) espaciales, ii) de telecomunicaciones, iii) de población y usos del suelo, iv) de infraestructura y servicios, v) de mobiliario soporte.

La activación de capas y los geoprocursos a realizar se deben realizar estrictamente en el orden mencionado, es decir, se activan las capas de todos los condicionantes espaciales, de telecomunicaciones, y de población y usos del suelo, para calcular el número de small cell necesarias y se realizan los geoprocursos para obtener el primer grupo de sitios planificados. Paso a seguir, se activan las capas de condicionantes de infraestructura y servicios, para obtener el segundo y tercer grupo de small cells, y si fuera necesario ajustar algunos de los sitios planificados en el primer grupo. Tras ello, para completar la cobertura en toda el área de la localidad de San Miguel, se planifican los restantes sitios en función a la cercanía a redes de fibra óptica, y la equidistancia a los demás puntos planificados, y finalmente se hacen los ajustes necesarios por los condicionantes de mobiliario soporte, para que los sitios planificados correspondan con el mobiliario urbano que sirva de soporte.

4. Descripción San Miguel y su Sector de Telecomunicaciones

San Miguel es una ciudad de la zona noroeste del Gran Buenos Aires, provincia de Buenos Aires, Argentina, y es la cabecera del partido homónimo. Según el Programa de Estudios del Conurbano (2016), El partido de San Miguel fue creado por Ley 11.551 del año 1994 conjuntamente con José C. Paz y Malvinas Argentinas (en territorio de lo que fue el partido General Sarmiento). Fecha de creación del partido de San Miguel: 10 de diciembre de 1995. Fecha de creación del partido de José C. Paz: 20 de octubre de 1994. Fecha de creación del partido de Malvinas Argentinas: 10 de junio de 1996. La Figura 4 muestra la ubicación del Partido de San Miguel en el conurbano bonaerense.



Figura 4 Ubicación del Partido de San Miguel en el conurbano bonaerense. Fuente: Elaboración propia con datos de la Municipalidad San Miguel (MSM)

De acuerdo con el Programa de Estudios del Conurbano (2016), el partido de San Miguel se compone de las localidades de Campo de Mayo, Santa María, San Miguel (cabecera), Bella Vista, y Muñiz; como se muestra en la Figura 5. San Miguel se ubica aproximadamente a 30 km del centro de Buenos Aires y a 98 de la Ciudad de La Plata. Se encuentra en un nudo de comunicaciones importante en el noroeste del conurbano donde para acceder a la ciudad se pueden utilizar las principales carreteras Ruta Provincial 8 (ex-RN 8), Ruta

Provincial 23 (ex-RN 202), Ruta Provincial 201 (ex-RN 201) y la autopista Camino del Buen Ayre, como también se pueden utilizar las autopistas Acceso Norte, Acceso Oeste y la Ruta Provincial 24 (ex-RN 197) las cuales se encuentran a corta distancia.

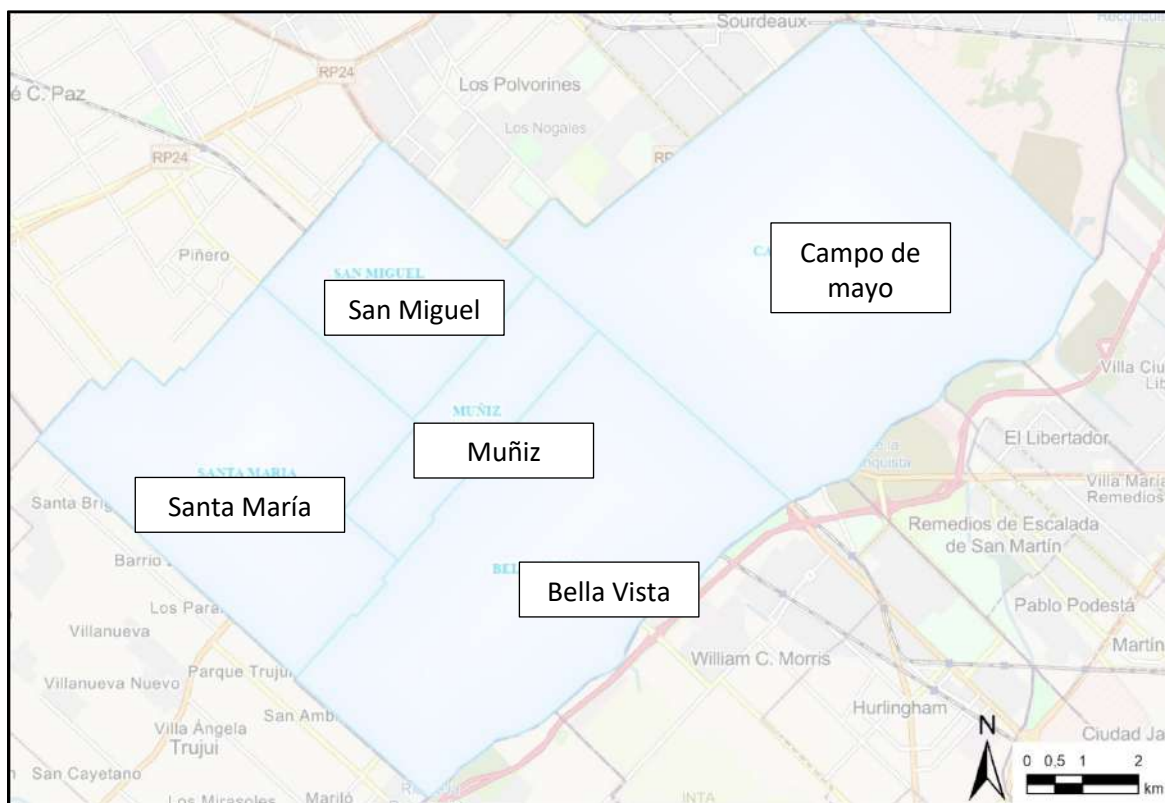


Figura 5 Partido de San Miguel. Fuente: Elaboración propia con datos de la MSM

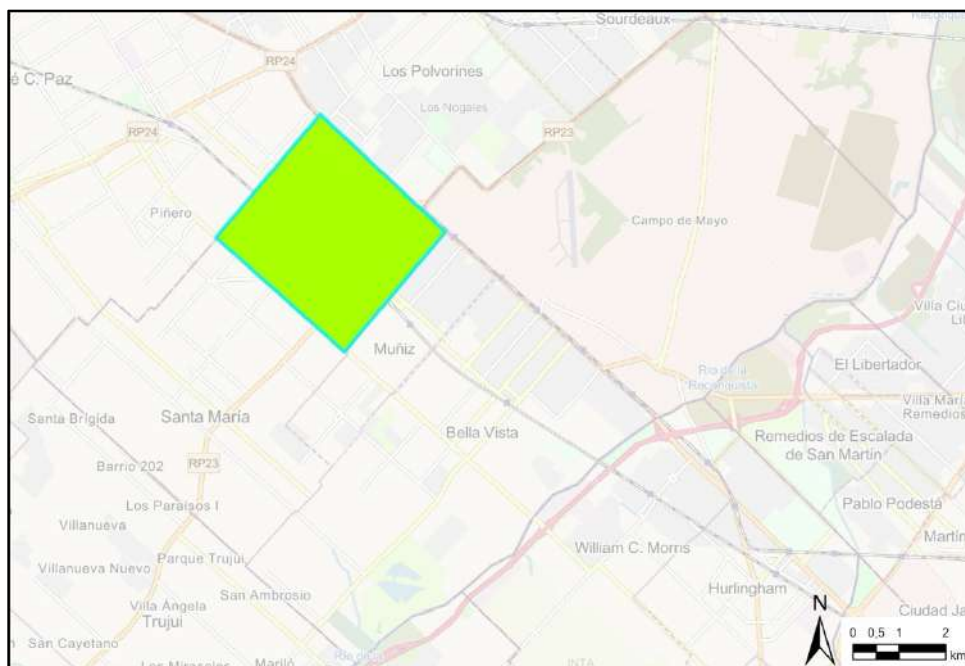


Figura 6 Delimitación de la localidad de San Miguel dentro del Partido de San Miguel.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a Municipalidades en Argentina (2021), el partido de San Miguel tiene una superficie de 82,08 km², pertenece a los partidos ubicados en el segundo cordón del conurbano y tiene una densidad de 3.335,63 habitantes por kilómetro cuadrado, muy superior a la que registra el cordón al que pertenece y a la del total de 24 partidos del Gran Buenos Aires. Su superficie representa el 2,29% del total de los 24 partidos del Conurbano bonaerense, ubicándolo en el puesto número 13 por extensión territorial dentro de este recorte. La localidad de San Miguel (cabecera del partido) tiene una superficie de 12,85 km² y una población de 56.293 según INDEC (2010), y es el área delimitada como caso de análisis para esta tesis, que se muestra en la Figura 6. La Localidad de San Miguel, cabecera del Partido homónimo, está delimitada al nororiente por la RP-8 (Av. Presidente Illia), al noroccidente por la Calle Int. Arricau, al suroccidente por la Av. Gaspar Campos, al suroriente por la Calle Sgto. Cabral; como se muestra en la Figura 22, (de acá en adelante se muestran los mapas con el norte rotado 41,5° en sentido anti horario, para facilitar su visualización).

Según el Programa de Estudios del Conurbano (2016), la estructura económico-productiva del municipio de San Miguel se caracteriza por una mayor producción de servicios (85,59%) sobre la producción de bienes (14,41%). En cuanto a la producción de servicios, el mayor aporte al sector lo realizan los servicios inmobiliarios, empresariales y de alquiler (28,21%), los que representan el 24,14% del total de la economía productiva total del partido, ocupando el primer lugar. Es seguido por los servicios de transporte, almacenamiento y

comunicaciones con el 23,18%, ocupando el segundo lugar (19,84%) en la economía productiva total del partido. En tercer lugar, se encuentran los servicios vinculados al comercio al por mayor, al por menor, la reparación de vehículos automotores, motocicletas, efectos personales y enseres domésticos con el 19,35%. Los restantes servicios poseen registros inferiores al 10%, destacándose la enseñanza con el 9,36% y en menor medida los servicios sociales y de salud con un aporte del 5,39%.

La industria manufacturera, que representa más del 59,34% de la producción de bienes, es el cuarto rubro de mayor aporte (8,55%) a la economía productiva total del municipio. Los otros rubros registran una participación relativamente baja en la producción de bienes, son: la construcción (22,69%) y electricidad, gas y agua (17,93%), los que representan el 3,27% y 2,58% de la economía productiva total del municipio, respectivamente.

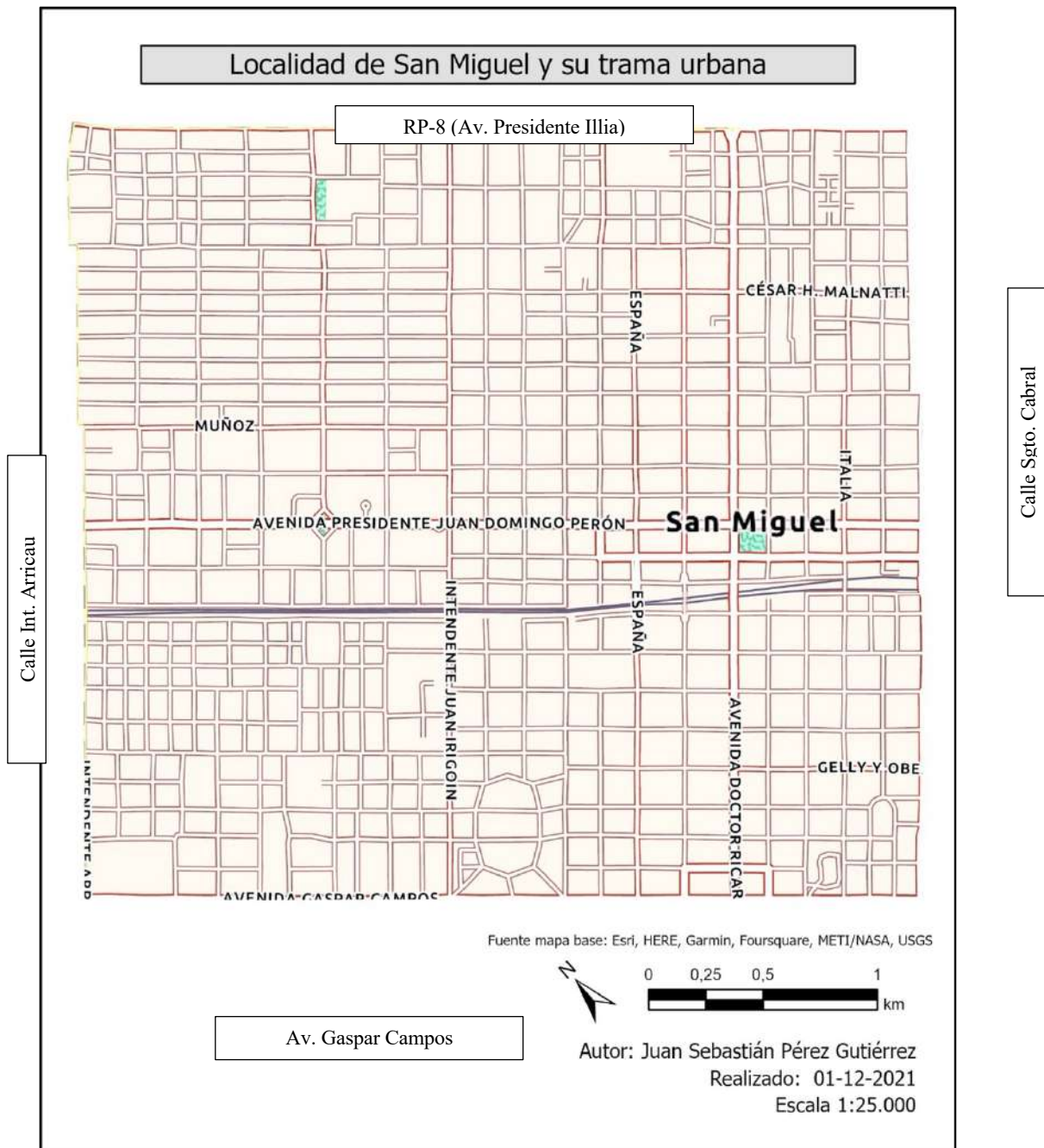


Figura 7 Localidad de San Miguel y su trama urbana. Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 8, en el área de estudio, hay una fuerte presencia de Usos del Suelo tipo “Microcentro” que se muestra en tonalidades de azul, en el polígono azul más oscuro y en los polígonos de tonalidades azules más claro que se encuentran sobre el mismo. Microcentro se encuentra discriminado en varios sub-usos debido a diferentes

condiciones de FOT, FOS, retiros, alturas, entre otros. El Uso tipo “Macrocentro” se encuentra a lo largo de las Av. Pte. Perón y la Av. Dr. Balbín, y se muestra en celeste. En la esquina inferior izquierda se ubica un Uso “específico”, porque allí se encuentra el cementerio. En la parte superior se ubica una manzana de precinto industrial. En la parte inferior se encuentra un polígono verde que corresponde al Uso “Residencial de media” que permite construcciones de Planta baja y un nivel, FOS 0,5 y FOT 0,7. En el resto de la localidad de San Miguel se encuentra el Uso “Residencial mixta o mínima” que permite construcciones de Planta baja y un nivel, FOS 0,6 y FOT 0,8.

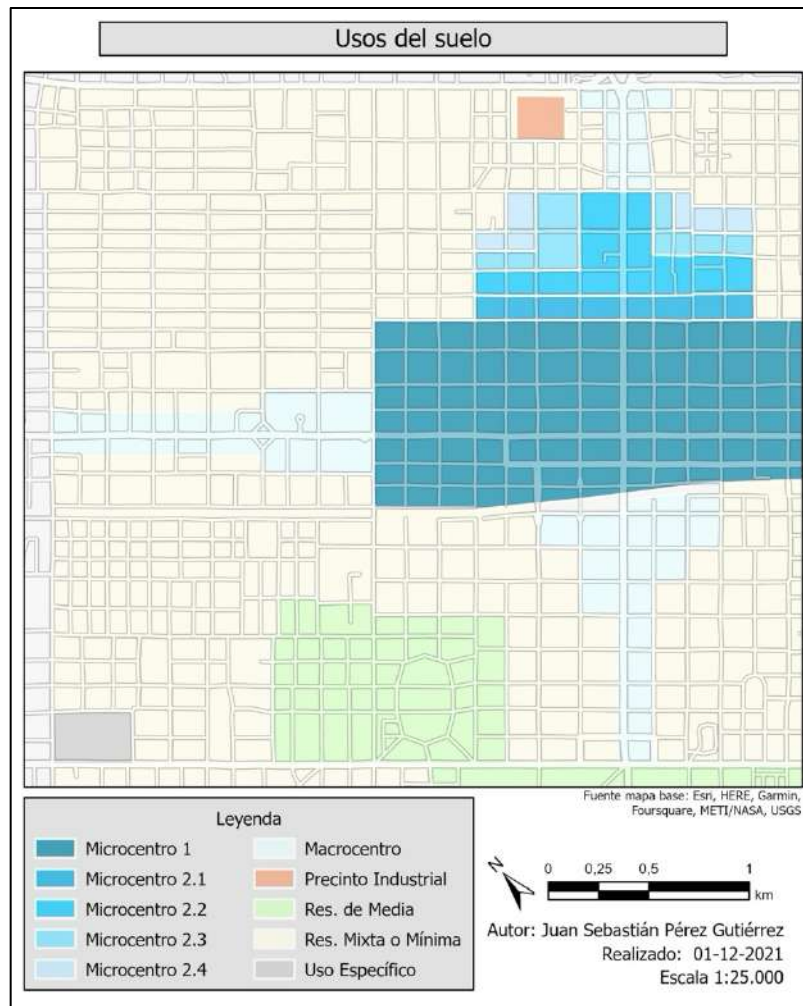


Figura 8 Usos del suelo. Fuente: Elaboración propia con datos de la MSM

Para la determinación de la densidad poblacional se usó la información del INDEC - censo nacional de población, hogares y viviendas 2010. En la Figura 9, se muestran cada uno de los 61 radios censales inscriptos en la localidad de San Miguel, cada radio censal contiene información de población, necesaria para calcular la densidad poblacional correspondiente.

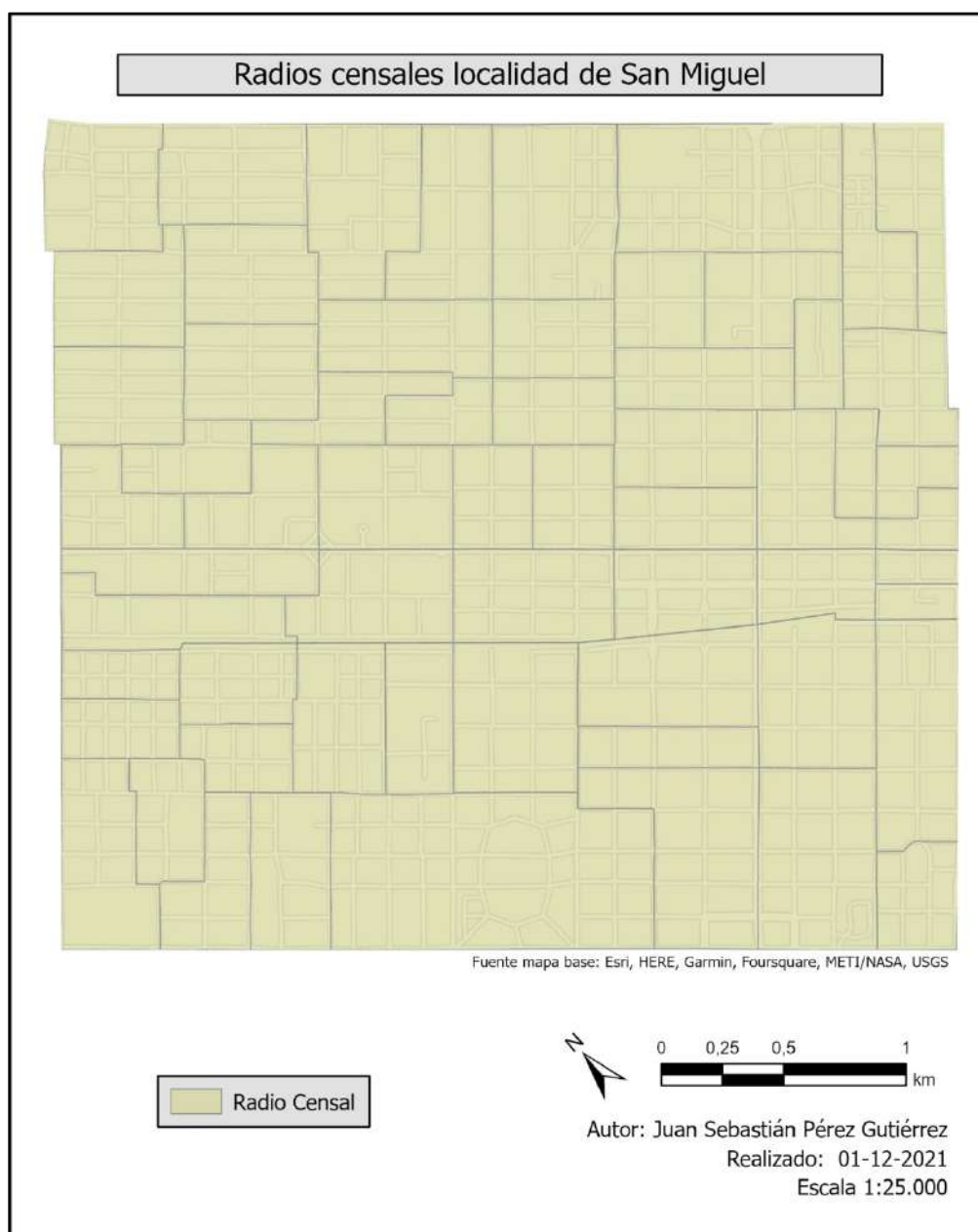


Figura 9 Radios Censales. Fuente: INDEC, Censo 2010

Con base en la información de población y área del censo de 2010 del INDEC, se realizó la Tabla 1. En esta tabla se calculó la densidad poblacional de cada uno de los 61 radios censales de la localidad de San Miguel, y la densidad poblacional promedio.

OBJECTID	LINK	POBLACION	Area (Ha)	Densidad (h/Ha)	OBJECTID	LINK	POBLACION	Area (Ha)	Densidad (h/Ha)
354	67600112	737	17,949	41,06	7716	67601002	950	15,623	60,81
355	67600113	974	13,269	73,41	10109	67600103	1175	29,782	39,45
356	67600117	658	13,676	48,11	10111	67600317	816	50,882	16,04
357	67600202	1133	14,364	78,88	12491	67600913	1503	17,123	87,78
358	67600209	431	20,276	21,26	12528	67600111	695	16,336	42,54
359	67600214	491	7,547	65,06	12529	67600203	634	18,200	34,83
360	67600217	405	4,806	84,28	12530	67600215	421	7,914	53,20
367	67600802	1446	31,281	46,23	12531	67600216	376	6,399	58,76
370	67600904	774	23,396	33,08	12535	67600902	743	20,711	35,87
371	67600906	569	14,141	40,24	12536	67600911	1488	82,383	18,06
372	67600915	660	21,054	31,35	12537	67600914	1234	22,798	54,13
373	67600916	875	17,102	51,16	12538	67601001	817	9,627	84,86
374	67601003	637	11,521	55,29	14989	67600108	1533	21,619	70,91
2716	67600101	1091	25,008	43,63	14990	67600109	1718	22,017	78,03
2717	67600105	1487	36,350	40,91	14991	67600116	665	9,991	66,56
2718	67600106	837	15,924	52,56	14992	67600204	695	18,449	37,67
2719	67600115	830	13,501	61,48	14993	67600207	853	19,654	43,40
2720	67600210	1241	8,908	139,31	14994	67600213	965	18,894	51,07
2725	67600811	844	14,209	59,40	15002	67600903	1197	23,536	50,86
2726	67600907	1194	25,076	47,61	15003	67600910	1294	36,625	35,33
2727	67601004	865	11,791	73,36	15004	67601005	812	14,540	55,85
5187	67600211	724	18,386	39,38	17551	67600110	1368	21,351	64,07
5226	67600104	965	23,705	40,71	17552	67600201	1249	48,732	25,63
5237	67600801	928	29,303	31,67	17553	67600205	623	18,571	33,55
5239	67601006	154	26,094	5,90	17554	67600206	715	14,765	48,43
7701	67600102	1150	24,909	46,17	17555	67600212	855	18,543	46,11
7702	67600107	1543	21,351	72,27	17561	67600812	1152	35,839	32,14
7703	67600114	1489	21,490	69,29	17562	67600901	744	18,701	39,78
7704	67600208	375	13,813	27,15	17563	67600905	699	13,868	50,40
7714	67600909	703	12,442	56,50	17564	67600908	657	27,869	23,57
7715	67600912	1437	31,148	46,13	Total Loc. San Miguel		56293	1285,132	43,80

Tabla 1 Densidad poblacional por radios censales. Fuente: Elaboración propia con datos de INDEC

Tras el cálculo de densidad poblacional para cada radio censal, se obtiene una densidad poblacional promedio de 43,80 hab/Ha (habitantes por hectárea). Los radios censales de menor densidad se corresponden con: el Uso del suelo en el que está el cementerio; el Uso residencial de media, que tiene bajos FOS y FOT; y algunas radios censales de microcentro, en los que predomina la actividad comercial y de servicios, sobre la residencial.

El Partido de San Miguel cuenta con una base de datos georreferenciada que tiene información muy completa. Respecto a antenas, muestra torres instaladas, antenas instaladas, y también Wicaps en postes de energía eléctrica (que para el alcance de este trabajo pueden entenderse como las small cells) y en cuanto a fibra óptica, en la que se muestra por donde pasa y quien es su propietario. Dicha información es de las 5 Localidades que componen el Partido, sin embargo, para los fines de esta tesis solamente se muestra la Localidad de San Miguel. Se muestran los mapas de antenas y fibra óptica en las Figuras 10 y 11 respectivamente.

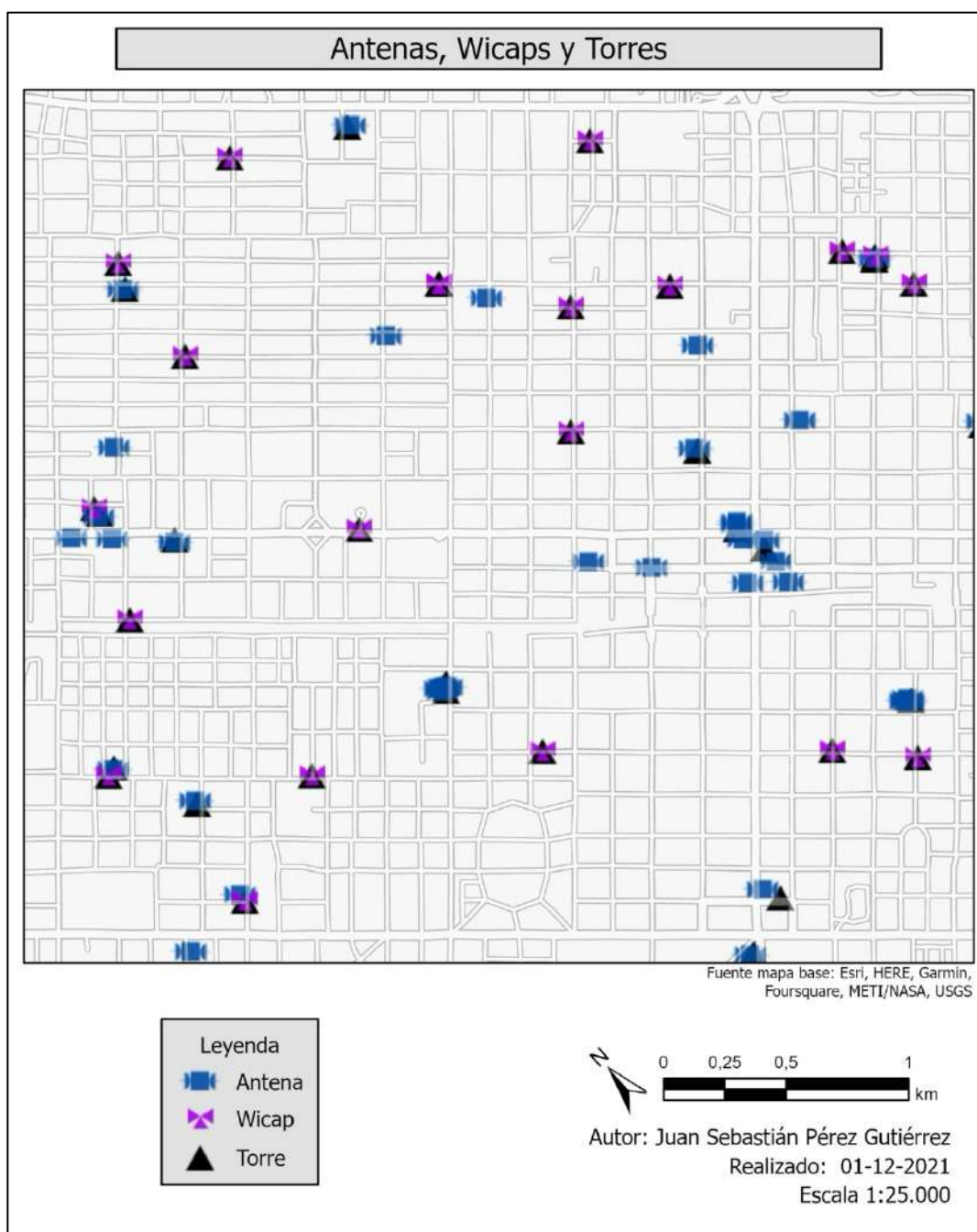


Figura 10 Antenas, Wicaps y Torres. Fuente: Elaboración propia con datos de la MSM

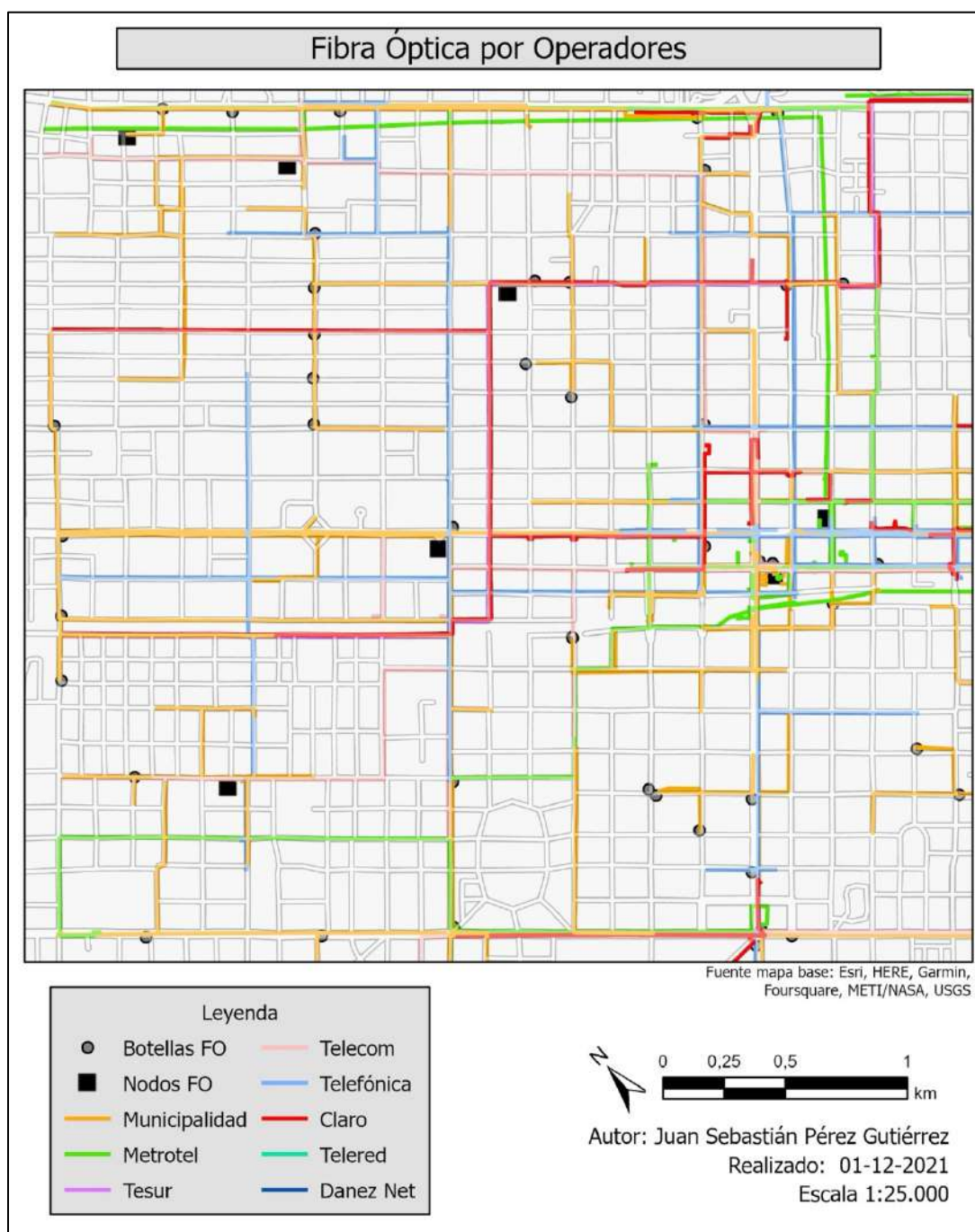


Figura 11 Fibra Óptica por Operadores. Fuente: Elaboración propia con datos de la MSM

5. Metodología para la estimación de sitios

La información recolectada de la Localidad de San Miguel se divide en cinco categorías de condicionantes: 1) Condicionantes espaciales, 2) Condicionantes de telecomunicaciones,

3) Condicionantes de población y zonificación, 4) Condicionantes de infraestructuras y servicios, 5) Condicionantes de mobiliario soporte. Se muestra la composición de cada una de las categorías de condicionantes en la Tabla 2.

	INPUT
Condicionantes espaciales	Trama Urbana
	Topografía
	Tejido urbano
Condicionantes de telecomunicaciones	Tendido de fibra óptica
	Macro y small cell desplegadas
	Espectro radioeléctrico a utilizar y cobertura típica small cell
Condicionantes de población y zonificación	Población y densidad poblacional (estimación cantidad de small cells)
	Usos del suelo
	Ubicación de asentamientos y zonas vulnerables socioeconómicamente
Condicionantes de infraestructura y servicios	Jerarquía vial, ciclorutas, rutas-líneas de transporte público
	Estaciones-paradas e transporte público
	Puntos atractores de usuarios: servicios municipales, asociaciones asistenciales, entidades de salud, centros de educación, entre otras
Condicionantes de mobiliario soporte	Ubicación postes, semáforos, estaciones de transporte público en el que se pueda soportar la small cell

Tabla 2 Condicionantes para estimar ubicación de small cell. Fuente: Elaboración propia

La integración de las 5 categorías de condicionantes, se realiza en ese orden la activación de las capas en el SIG, para su análisis y procesamiento, principalmente con herramientas del software como “intersect” y “buffer”. Se iniciará activando las capas de todos los condicionantes espaciales, de telecomunicaciones, y de población y zonificación, para calcular el número de small cell necesarias, y se realizan los geoprosesos para obtener el primer grupo de sitios planificados.

Paso a seguir, se activan las capas de condicionantes de infraestructura y servicios, para obtener el segundo y tercer grupo de small cell, y si fuera necesario ajustar algunos de los sitios planificados en el primer grupo. Tras ello, para completar la cobertura en toda el área de la localidad de San Miguel, se planifican los restantes sitios en función a la cercanía a redes de fibra óptica, y la equidistancia a los demás puntos planificados, y finalmente se hacen los ajustes necesarios por los condicionantes de mobiliario soporte, para que los sitios planificados correspondan con el mobiliario urbano que sirva de soporte. Es importante que los sitios se ubiquen en las intersecciones de calles, ya que de esta manera se disminuye la cantidad de obstáculos que atenúan las ondas.

i) Condicionantes Espaciales y Condicionantes de Telecomunicaciones

La topografía de San Miguel es plana, y no se cuenta con información del tejido urbano. Para el propósito de esta tesis es suficiente con la trama urbana, que es el input

fundamental, ya que es el lienzo sobre el que se acoplarán los demás inputs. Se integra, en primer lugar, con los condicionantes de telecomunicaciones: tendido de fibra óptica desagregado por operador, y macro y small cell instaladas. Se muestra en la Figura 12.

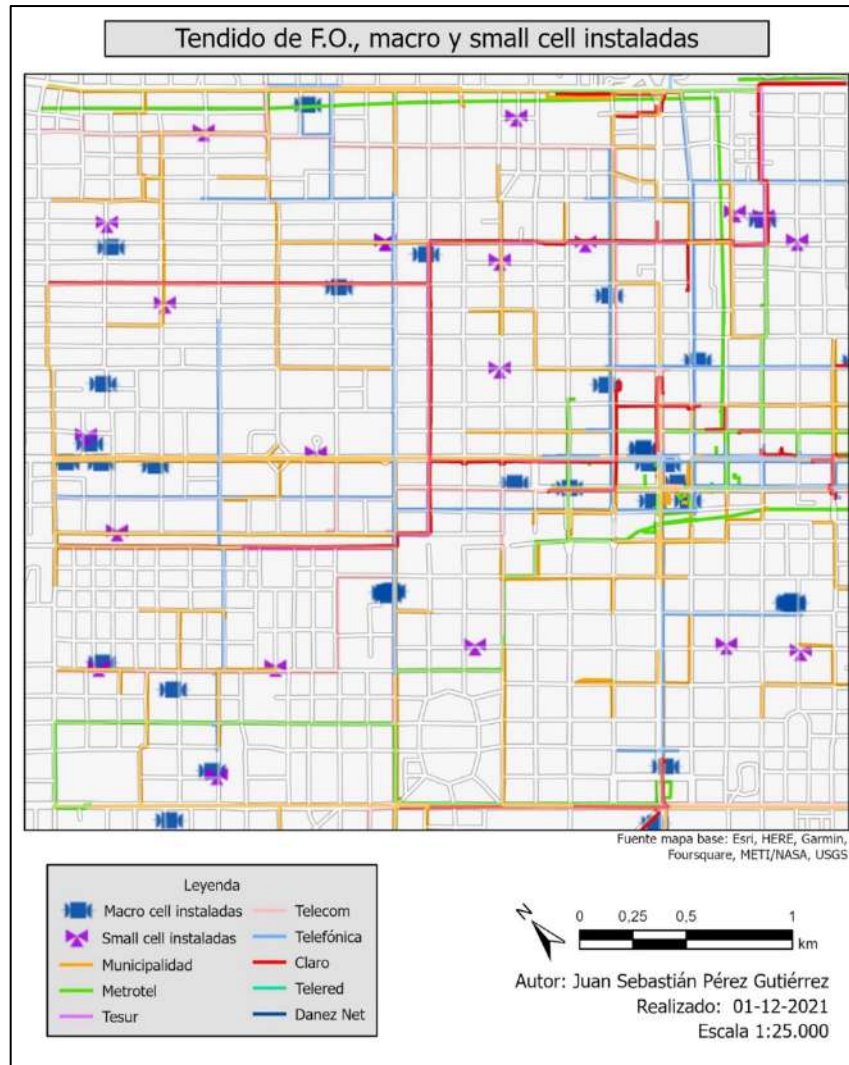


Figura 12 Tendido de F.O., macro y small cell instaladas. Fuente: Elaboración propia con datos de la MSM

Para verificar que las macro cell y las small cell están instaladas se hace un relevamiento empleando Street View. Se encuentra que todas las 20 small cell que aparecen en el mapa están desplegadas, por otro lado, de las 27 macro cell reportadas en el mapa, se encontraron 12, puede que las otras 15 estén muy bien camufladas, o en un pedestal en lo alto de un edificio y no haya sido posible verlas. En algunos casos es posible que una macro

cell haya sido remplazada por una o varias small cell, porque no se encontró la macro cell, pero si se encontró una small cell a una corta distancia.

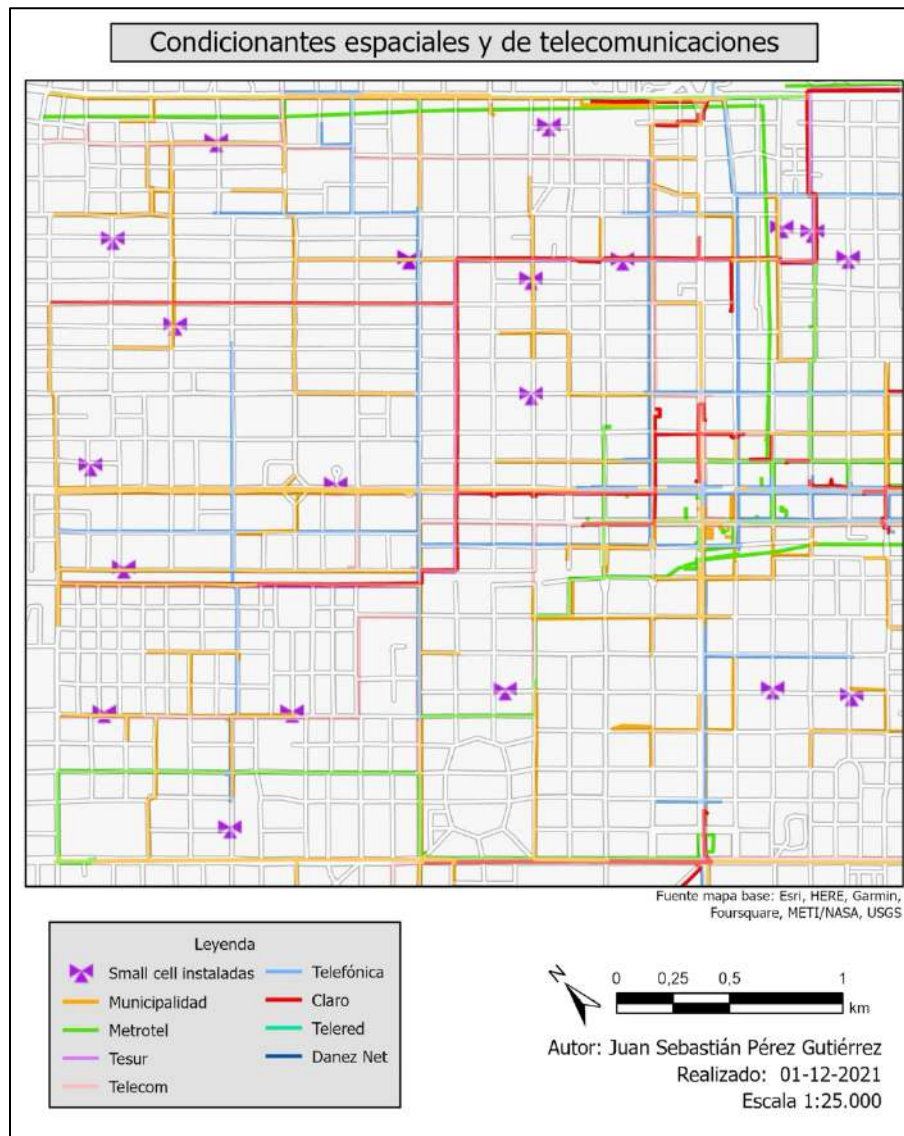


Figura 13 Condicionantes espaciales y de telecomunicaciones. Fuente: Elaboración propia con datos de la MSM

Las macro cell suelen construirse en sitios privados, y cuando los contratos de alquiler expiran, los operadores podrían considerar no renovarlos. Como se expresó en el primer capítulo, las redes celulares funcionan de una manera heterogénea, sin embargo, para los efectos de esta tesis, las macro no serán consideradas, con el fin de planificar sitios para small cell que puedan servir para remplazar una macro, si es que así lo desea un operador. Además, como ya se dijo, el hardware de telecomunicaciones se ve sometido a una

obsolescencia tecnológica muy acelerada, esto también podría propiciar que los operadores no renueven sitios macro sino que remplacen una macro con una o varias small cell, de acuerdo a sus requerimientos. Por lo tanto, se muestra en la Figura 13 los condicionantes espaciales y de telecomunicaciones a considerar.

Típicamente las small cells operan en las bandas más altas del espectro, tienen menos potencia y menos área cobertura. Por lo cual hacen un uso del suelo más intensivo que las macro cells, pero de mínimo impacto visual. Por lo pronto se asumen celdas de radio del orden de 100-200 metros, y en el análisis de población se va a definir el número de usuarios servidos por una celda, y la cantidad de celdas para la localidad de San Miguel.

ii) Condicionantes de población y usos del suelo

Con base en los datos del censo realizado en 2010 por el INDEC, la localidad de San Miguel tiene una población de 56.293 personas, distribuidas en 1.285 hectáreas, con lo que se obtiene una población media de 43,80 hab/Ha. Esta es una densidad poblacional baja en comparación con la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, que según su Subdirección General de Estadísticas Ciudad de Buenos Aires (2015), es de más de 150 hab/Ha.

De acuerdo con la Tabla 3, de radios de cobertura y cantidad de usuarios de (2017) se seleccionan radios de cobertura de 100-200 metros, porque de aumentarse se corre el riesgo que las antenas deban ganar mayor altura y requieran estructuras de soporte de mayor complejidad, que implican tramites extensos de factibilidad y obra, que es justamente lo que se quiere evitar. Considerando que San Miguel no es un área de alta densidad poblacional, y bajo algunos supuestos, se selecciona el rango entre 100 y 2000 usuarios, con el fin de estimar la cantidad de usuarios servidos por hectárea.

Cell Type		Output Power (W)	Cell Radius (km)	Users	Locations
Small Cell	Femto Cell	0,001 to 0,25	0,010 to 0,1	1 to 30	Indoor
	Pico Cell	0,25 to 1	0,1 to 0,2	30 to 100	Indoor/Outdoor
	Micro cell	1 to 10	0,2 to 2,0	100 to 2000	Indoor/Outdoor
Macro Cell		10 to >50	8 to 30	>2000	Outdoor

Tabla 3 Selección rangos de radio de cobertura y cantidad de usuarios. Fuente: Elaboración propia con datos de Tuan Nguyen

Entre los supuestos están: 1) Todos y cada uno de los habitantes tiene un solo equipo para conectarse a una celda; 2) Se considera a San Miguel como un entorno aislado y cerrado, es decir no hay condiciones de frontera, y sus habitantes se mueven dentro de la localidad, sin que entre ni salga nadie; 3) Se calcula el número de usuarios con base en los radios de cobertura, conformando una cuadrícula, por llamarlo de alguna manera, sin considerar que hay áreas traslapadas. 4) El cálculo se hace en base a la densidad poblacional, es decir, donde las personas residen, mas no por donde se mueven y demandan servicios móviles,

por eso es necesario revisar los Usos de Suelo, infraestructuras y servicios, para poder planificar los sitios de una manera más lógica.

Con base en las áreas de cobertura de celdas de 100, 150 y 200 metros, considerando una cantidad de usuarios fija por celda de 100, 200, 400, 500, 1000, y 2000 usuarios. Se calcula la cantidad de usuarios servidos por hectárea en la Tabla 4.

Usuarios por hectarea (h/Ha)				
Radios celda (m)		100	150	200
Area de celda (Ha)		3,14	7,07	12,57
Usuarios por celda	100	31,83	14,15	7,96
	200	63,66	28,29	15,92
	400	127,32	56,59	31,83
	500	159,15	70,74	39,79
	1000	318,31	141,47	79,58
	2000	636,62	282,94	159,15

Tabla 4 Usuarios por hectárea. Fuente: Elaboración propia

Se asigna una cantidad de 500 usuarios por celda, ya que con radios de 200 metros se tiene una cantidad de 39,79 usuarios por hectárea, y con radios de 150 metros se tiene una cantidad de 70,74 usuarios por hectárea, ya que la densidad poblacional de más de la mitad de los radios censales de la localidad se encuentra en dicho rango (39,79 – 70,74 usuarios/Ha). Paso a seguir se estima la cantidad de small cell que se van a requerir, para ello se usa la población y la cantidad de usuarios por celda, de nuevo, considerando los 4 supuestos mencionados en el párrafo anterior.

$$\text{Número de small cell} = \frac{\text{Población}}{\text{Usuarios por celda}} = \frac{56.293}{500} = 113 \text{ celdas}$$

En la municipalidad ya hay desplegadas 20 celdas, así que de acuerdo al cálculo es necesario planificar 93 celdas más. Sin embargo, para el cálculo de usuarios por hectárea (Tabla 4), fue considerada el área de radios de cobertura (circulares), es decir no se tuvo en cuenta que va a haber traslapos entre radios de cobertura, y tampoco se tiene en cuenta que la trama urbana no es una cuadrícula regular. Así que se espera que al realizar la distribución espacial de las small cell, se puedan requerir algunas small cell de más.

Una vez calculada la cantidad de small cell a planificar se procede a ubicarlas con base en la zonificación de la localidad. Se muestran, en la Figura 14, las capas de las small cell instaladas, los usos del suelo, y las zonas comerciales; la capa de tendido de F.O también se considera en el análisis, pero no se muestra para no saturar la imagen. Se resalta que las zonas de microcentro, macrocentro y las Av. RP-8 (Av. Presidente Illia) y la Av. Gaspar Campos, son áreas que demandan intensivamente conectividad móvil, entonces acá se hace el primer ajuste, porque la cantidad de small cell fue hallada con base en la densidad

poblacional por radios censales, pero las small cell no se ubicaran necesariamente a menor distancia en las zonas con mayores densidades poblacionales, sino en las que tienen mayor actividad comercial, mostradas en rojo y amarillo en la capa de zonas comerciales. Es decir, no se ubicarán en esta primera instancia donde la gente vive, sino por donde la gente tiende a desplazarse en un día común, dando énfasis a microcentro, donde se ubican aproximadamente cada 150 metros, y las restantes aproximadamente cada 200 metros.

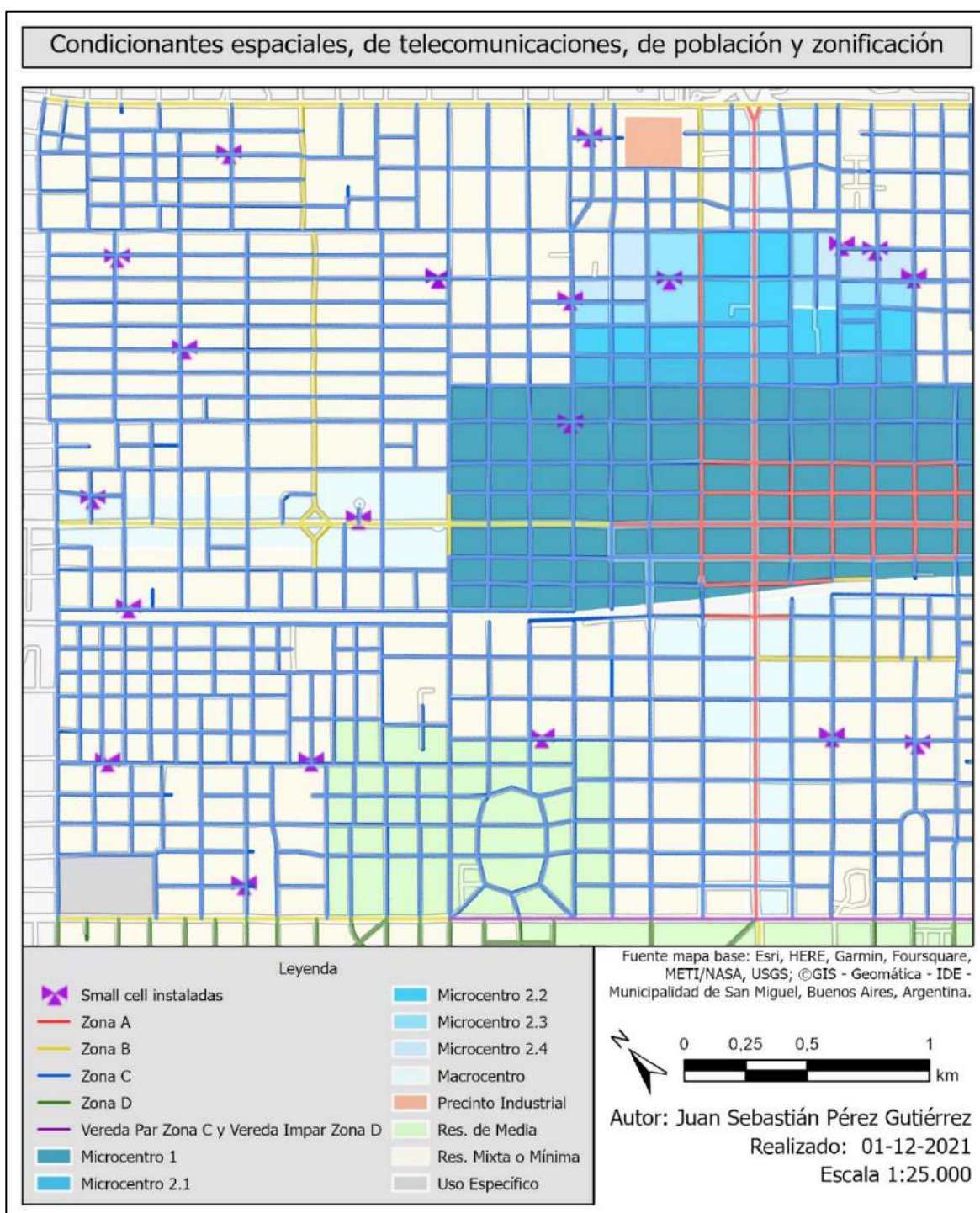


Figura 14 Condicionantes espaciales, de telecomunicaciones, de población y zonificación.
Fuente: Elaboración propia con datos de la MSM

Se ubicaron 52 celdas en esta etapa, que se pueden observar en la Figura 15. Se dio fuerte énfasis en la Av. Balbín (corredor longitudinal en rojo -Zona A- que atraviesa toda la localidad) y la Av. RP-8 (corredor transversal amarillo -Zona B- en la parte superior). Nótese que la planificación incluye 2 small cell instaladas sobre la Av. Pte. Perón (corredor transversal amarillo -Zona B- en la parte media), ya que es importante integrar lo planificado con lo ya desplegado.

Las small cell se planifican en lo posible, junto a los tendidos de fibra de múltiples operadores (no se muestran en la Figura 7 para no saturar la imagen), con el fin de habilitar la competencia entre ellos. Se resalta que para replicar el modelo que plantea esta tesis, conseguir el mapa de las redes de fibra óptica construidas y proyectadas por cada operador puede ser un desafío, ya que forma parte de su confidencialidad y estrategia, herramientas con las cuales buscan lograr ventajas competitivas frente a la competencia, por lo tanto no es fácil que compartan esta clase de información.

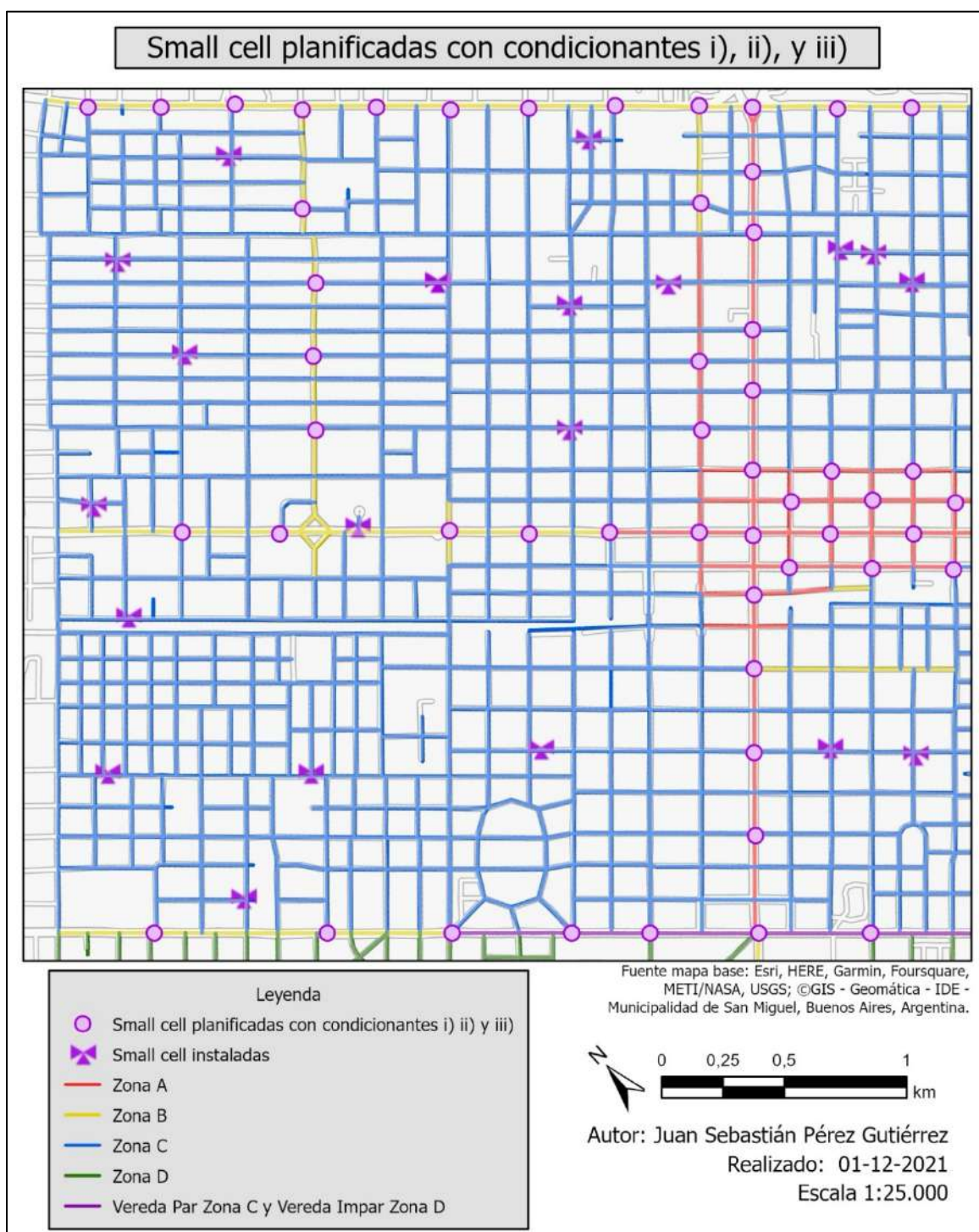


Figura 15 Small cell planificadas con condicionantes espaciales, de telecomunicaciones, de población y zonificación. Fuente: Elaboración propia

En esta etapa es importante dar énfasis en las zonas de mayor vulnerabilidad socioeconómica, como lo son los asentamientos, ya que los operadores tienden a postergar el despliegue en estas áreas. Es importante incentivar a los operadores a desplegar en dichas áreas, no solo mediante esta propuesta de planificación, sino que la misma debería estar acompañada de incentivos fiscales, para motivar a los operadores, y de esta manera aunar esfuerzos para reducir la brecha digital por acceso a las tecnologías de la información y la comunicación actuales, lo cual puede permitir hacer un uso eficiente de las TIC, y sumar esfuerzos para que las comunidades salgan de los ciclos de pobreza. Como ya se ha dicho en varias partes de esta tesis, las small cell no solo sirven para aportar conectividad móvil, sino que pueden aportar conectividad fija inalámbrica, lo que puede ser una solución adecuada para conectar a los que están completamente desconectados. Sin embargo, en la localidad de San Miguel no hay ningún asentamiento, así que para este caso de análisis no es posible dar énfasis en asentamientos.

Se resalta que debe haber incentivos al que hace la inversión e instala la antena, ya que en el contexto de compartición de infraestructura, los operadores tienden a esperar a que uno de ellos invierta y luego los otros se suman con un menor costo. Lo cual se convierte en un modelo perder-perder, porque todos los operadores están cómodamente esperando a que alguno haga la inversión, así que de esta manera se pierde tiempo, los operadores pierden dinero porque no prestan servicios a tiempo, los municipios pierden dinero porque no hay infraestructura instalada que les reporte ingresos fiscales, y los ciudadanos son los que más pierden porque quedan desconectados, o subconectados con los servicios de baja calidad que ofrecían tecnologías antiguas.

iii) Condicionantes de infraestructura

Hasta este punto, la demanda de conectividad se abordó como si fuera una demanda poblacional de conectividad por radios censales, y luego se distribuyeron las small cell con base en la zonificación, focalizando en las áreas que tienden a concentrar mayor población durante un día común. El paso a seguir es, considerar los viajes que se realizan para llegar desde una residencia ubicada en un radio censal, hacia cierto uso del suelo en otro radio censal.

En la Figura 16 se muestra la adición de las capas de rutas de colectivos, paradas de colectivos con y sin refugio, estaciones de tren, y semáforos. Para esta tesis se considera la jerarquía vial asociada con las calles por donde pasan rutas de transporte público (y que se corresponde con la jerarquía de calles de vehículos particulares). Para una mayor precisión de esta metodología sería ideal contar con rutas georreferenciadas de ciclorutas, modelos origen-destino de transporte público y privado, e incluso viajes peatonales. Sin embargo, para el alcance de esta tesis, la información de la Municipalidad es suficiente. Otro punto importante a considerar es la ubicación de intersecciones con semáforo, pues

esto indica que dichas intersecciones concentran mayor cantidad de vehículos y peatones que otras intersecciones, al concentrar más vehículos y peatones, consecuentemente se concentra mayor cantidad de usuarios que demandan conectividad móvil, por lo cual son ubicaciones ideales para ubicar una small cell.

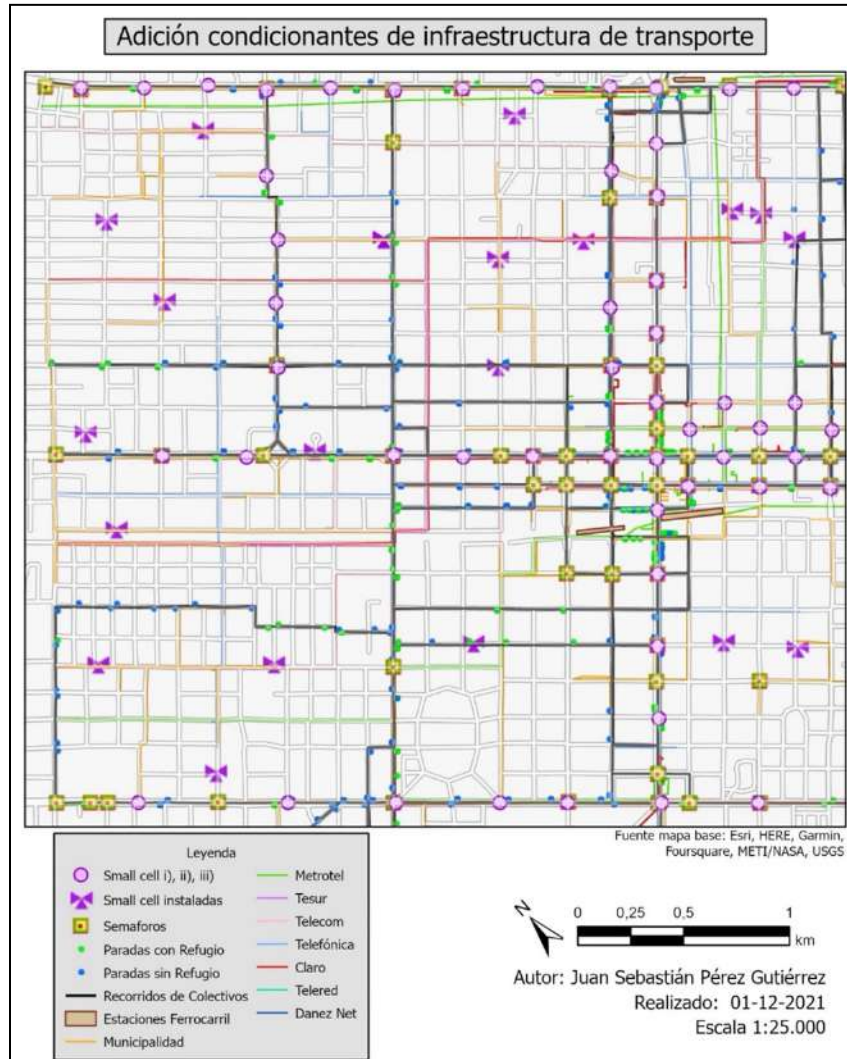


Figura 16 Adición condicionantes de infraestructura de transporte. Fuente: Elaboración propia

Al adicionar los mapas de los condicionantes de infraestructura de transporte, se procede a ubicar small cells. En primer lugar en las estaciones de tren, posteriormente en las trazas del tren, luego a lo largo de las vías de mayor jerarquía, que es por donde se realiza el transporte público y privado de mayor capacidad, especialmente cerca a los semáforos.

Verificando que todas las paradas de transporte público colectivo queden cubiertas por al menos una small cell.

Este segundo grupo de small cells planificadas, se muestran en la Figura 17 con puntos color naranja, para diferenciarlas de las ubicadas en la primera etapa, que se muestran puntos color lila. Nótese que algunas de las small cells ubicadas en la primera etapa, fueron modificadas por acción de los condicionantes de esta segunda etapa (sobre la avenida Gaspar campos, parte inferior del mapa).

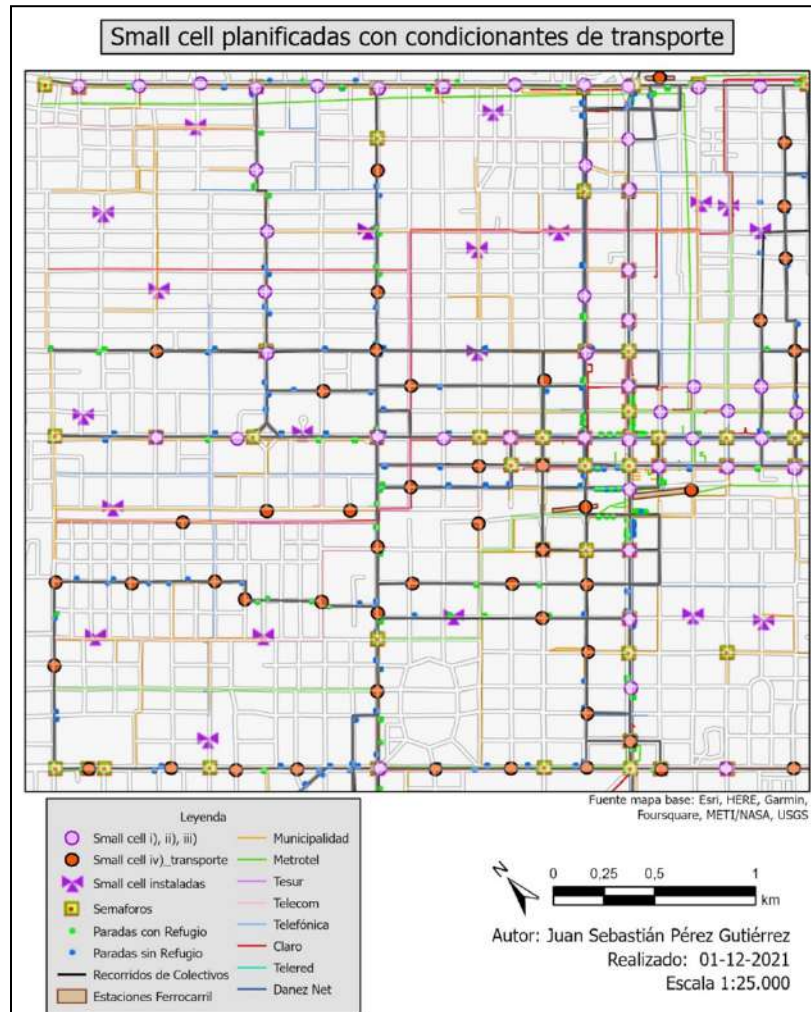


Figura 17 Small cell planificadas con condicionantes de transporte. Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, para ilustrar las áreas de cobertura hasta este punto, se adicionan los radios de cobertura de 150 metros en la zona de mayor actividad comercial y las estaciones de tren, y en las demás se adicionan radios de cobertura de 200 metros (se realiza en el

software con la herramienta “buffer”). Se muestran en la Figura 18 las áreas de cobertura con círculos verdes.

En el centro de cada círculo se aprecia si fueron small cell planificadas con base en condicionantes espaciales, de telecomunicaciones, de población y zonificación (punto color lila), con base en condicionantes de transporte (punto color naranja), o small cell ya instalados (icono purpura). Se reitera que se debe realizar el análisis con la capa de tendido de fibra óptica activada, para identificar posibles sitios a la menor distancia de la fibra óptica instalada.

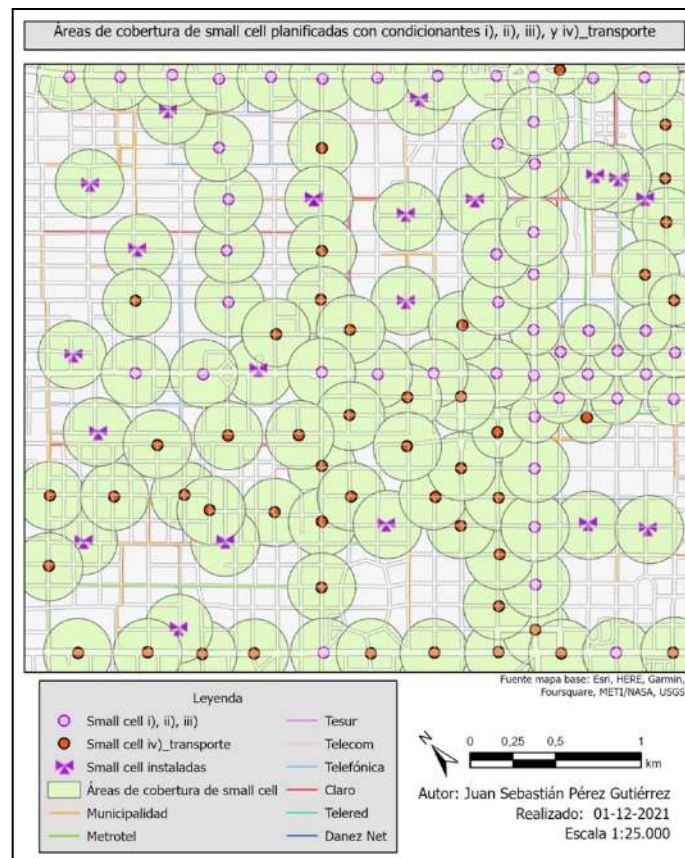


Figura 18 Áreas de cobertura de small cell planificadas con condicionantes espaciales, de telecomunicaciones, de población y zonificación, y de transporte. Fuente: Elaboración propia

iv) Condicionantes de servicios

Se puede observar que aún quedan áreas sin cobertura. En la Figura 19 se activan las capas que contienen puntos que concentran usuarios, como lo son: servicios municipales, entidades de seguridad, asociaciones asistenciales, entidades de salud, centros de educación. Para facilitar visualización no se incluye en la leyenda del mapa la información referente a tendido de fibra óptica, pero los tendidos se pueden ver en el mapa.

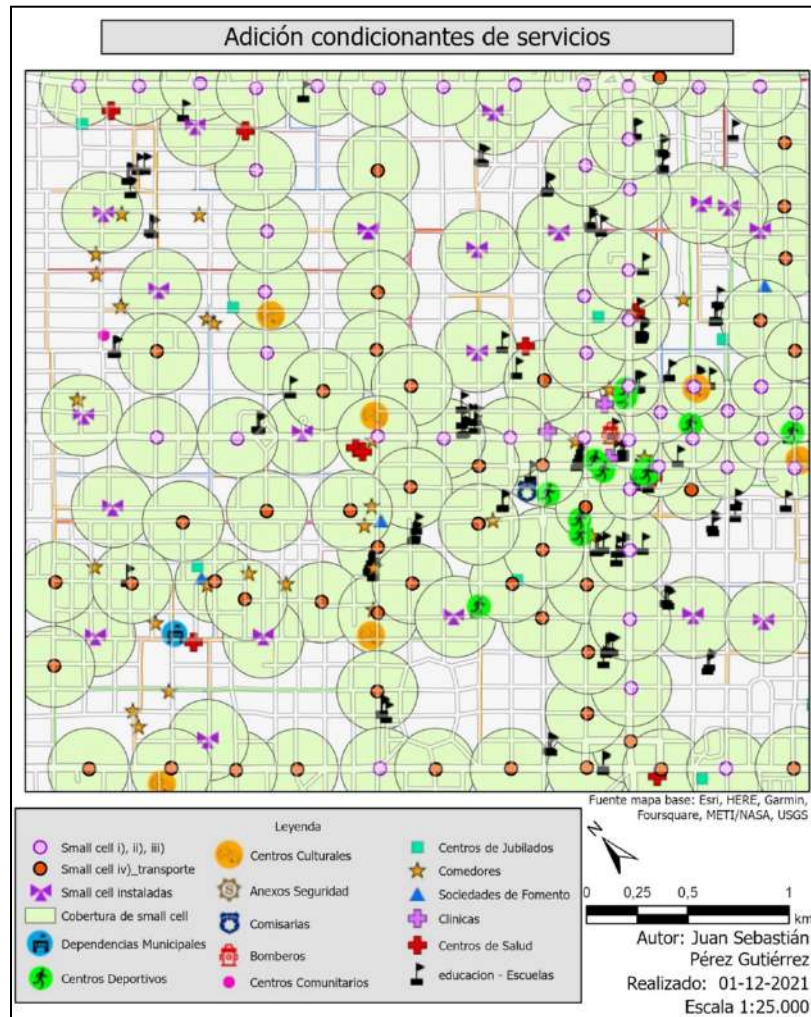


Figura 19 Adición condicionantes de servicios municipales, entidades de seguridad, asociaciones asistenciales, entidades de salud y centros de educación. Fuente: Elaboración propia

Hay puntos de prestación de servicios por fuera de las áreas de cobertura, se procede a planificar small cells en dichas áreas, que se muestran en la Figura 20 como puntos verdes con sus respectivas áreas de cobertura. Para facilitar visualización no se incluye en la leyenda del mapa la información referente a tendido de fibra óptica, pero los tendidos se pueden ver en el mapa.

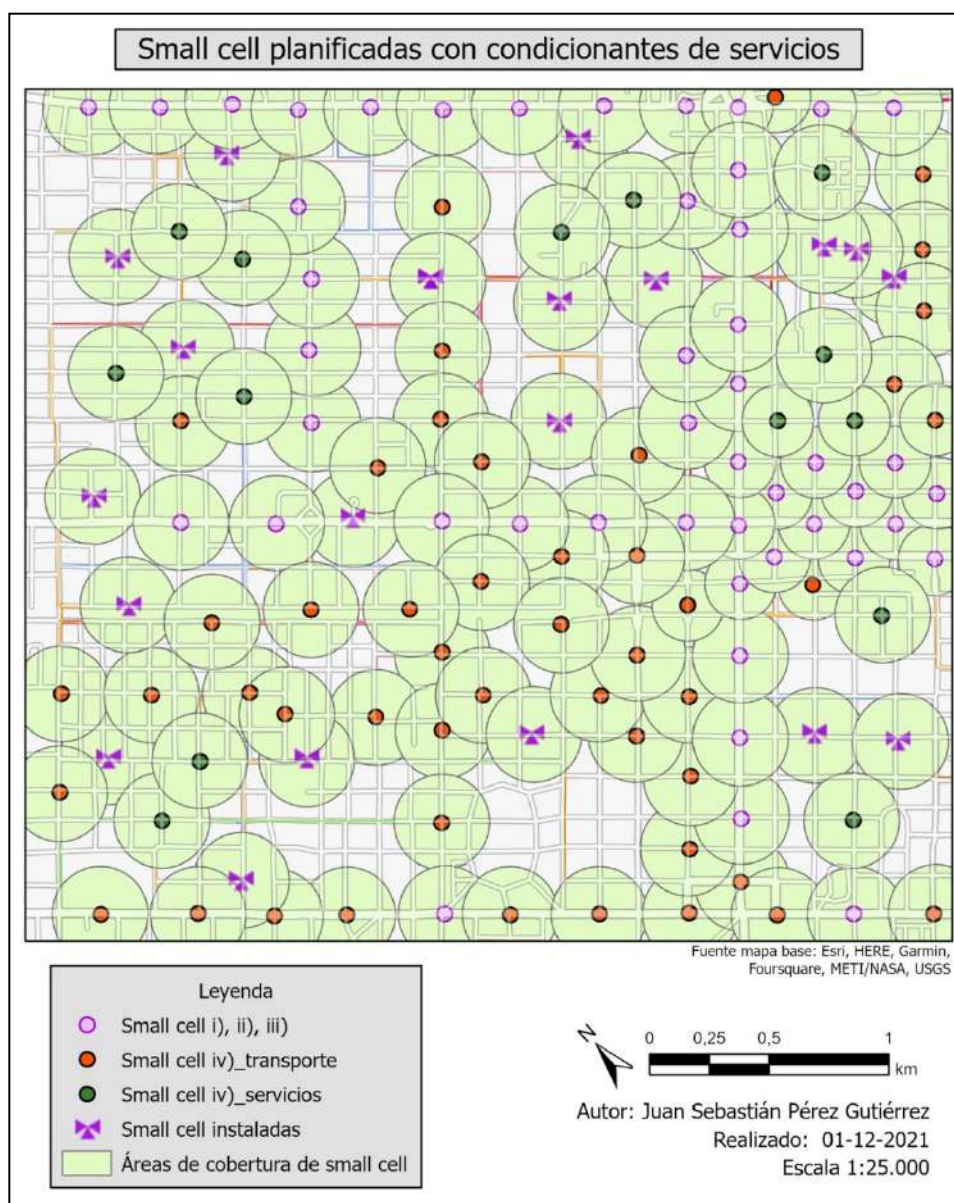


Figura 20 Small cell planificadas con condicionantes de servicios municipales, entidades de seguridad, asociaciones asistenciales, entidades de salud, centros de educación. Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para completar la “cuadrícula” de small cells, se planifican los restantes sitios en función a la cercanía a redes de fibra óptica, y la equidistancia a los demás puntos planificados (puntos color turquesa), que se muestran en la Figura 21.

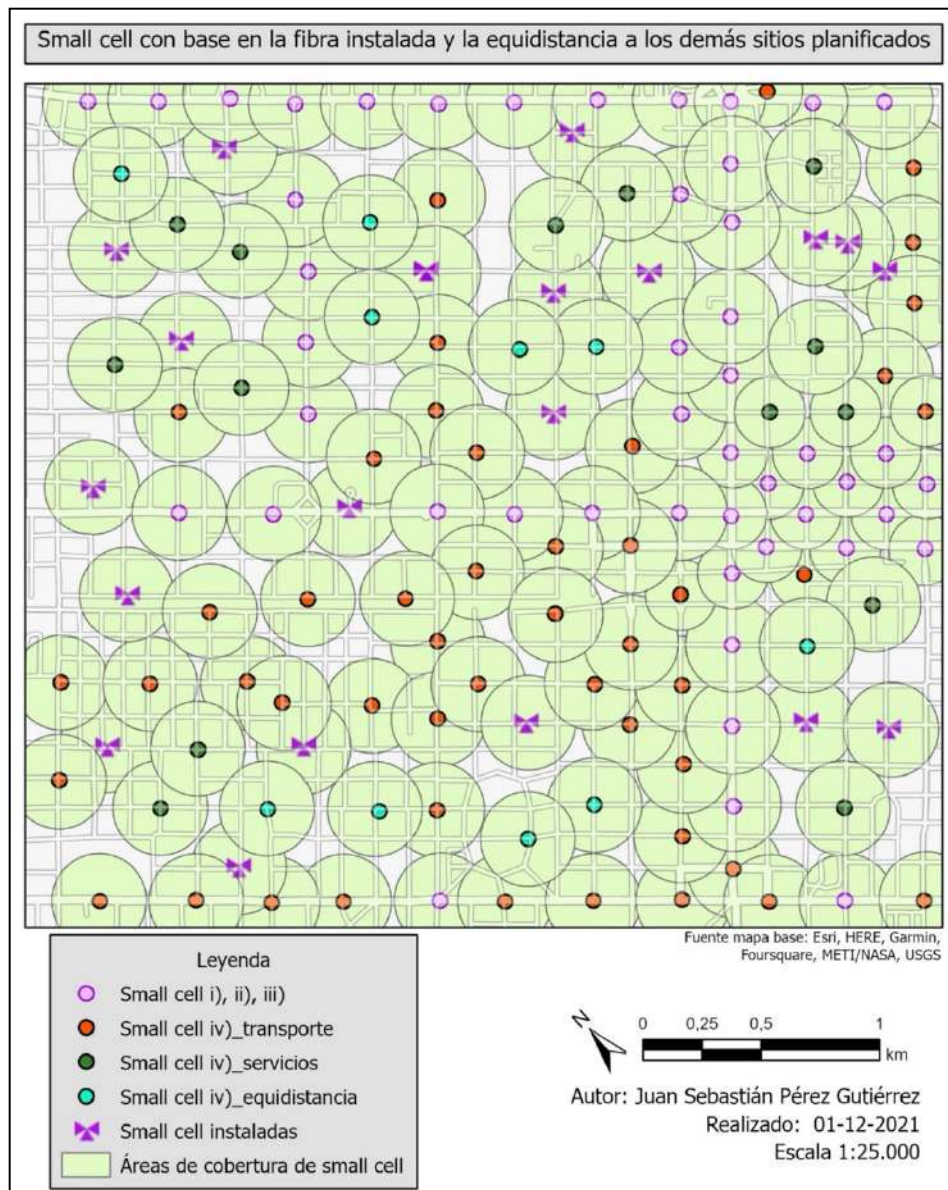


Figura 21 Small cell con base en la fibra instalada y la equidistancia a los demás sitios planificados. Fuente: Elaboración propia

Se muestra en la Figura 22 el mapa de la Localidad de San Miguel con las redes de fibra óptica, las small cell desplegadas (icono púrpura), small cell planificadas por condicionantes espaciales, de telecomunicaciones, de población y zonificación (puntos lila), small cell planificadas por condicionantes de transporte (puntos naranja), small cell planificadas por condicionantes de servicios (puntos verdes), y small cell que completan la cuadrícula en función a la cercanía a redes de fibra óptica y la equidistancia a los demás sitios planificados (puntos turquesa).

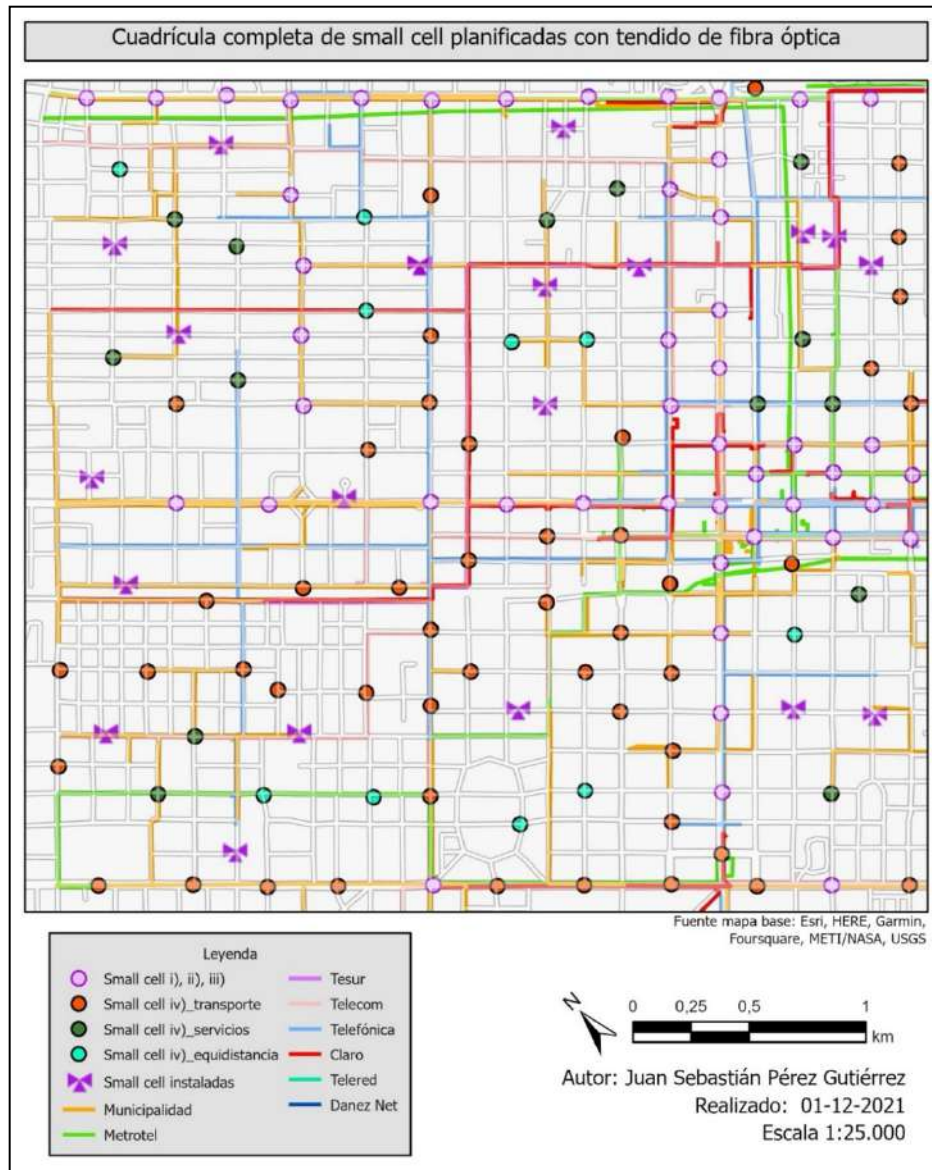


Figura 22 Cuadrícula completa de small cell planificadas con tendido de fibra óptica. Fuente: Elaboración propia

v) **Condicionantes de mobiliario soporte**

En el marco teórico se expresa que uno de los motivantes de esta tesis fue la continua manifestación de los operadores, en la que expresan que sería útil disponer de una base de datos central, en la que se mostrasen la infraestructura y los activos de suministro de servicios públicos disponibles. Esta tesis va un poco más allá dentro de su enfoque exploratorio, planteando que las autoridades locales pueden considerar la posibilidad de mantener una base de datos central georreferenciada como una iniciativa Govtech, a fin de

planificar en donde tiene que instalarse una antena en función de la cobertura típica de small cells y los determinantes de planificación propios de cada municipio.

Ahora bien, una vez planificadas las small cell, es necesario establecer donde se pueden soportar. Como son livianas y de mínimo impacto visual, suelen instalarse en postes, semáforos, estaciones de transporte público, vallas publicitarias, entre otras. La municipalidad de San Miguel tiene ubicación georreferenciada de luminarias, semáforos, paradas de colectivo con y sin refugio, y estaciones de tren. Si bien no están georreferenciados todos los postes, y no todos los postes tienen una luminaria, todas las luminarias si están en un poste, así que la información con la que cuenta la Municipalidad es suficiente para esta tesis.

Como se mencionó en el marco teórico, es ideal que las small cells estén a distancias optimas de la demanda, y como se mencionó en el desarrollo de esta tesis, debería considerarse una tolerancia de hasta 30 metros de distancia del sitio planificado para instalar una small cell, para que el modelo no sea del todo rígido, además con base en los desarrollos tecnológicos de las próximas generaciones, la planificación y sus rangos de tolerancia deberían ser actualizados.

En la Figura 23 se muestran las small cell instaladas (sin las planificadas para no saturar la imagen), y las posibles estructuras del mobiliario urbano que sirven de soporte: luminarias, semáforos, paradas de colectivo con y sin refugio, y estaciones de tren.

Se aprecia que las small cell instaladas no coinciden siempre con las luminarias, es decir, están en postes que no tienen luminaria. Las small cell se instalaron en postes prefabricados de hormigón que remplazaron los postes de madera. En consideración de la relativa baja complejidad que implica el remplazo de un poste de madera por un prefabricado de hormigón, es importante que dichos remplazos se puedan hacer sin mayores trámites, para no entorpecer el despliegue de small cells.

En general en San Miguel el mobiliario que puede ser usado como soporte de las antenas small cell, es muy antiguo y debería ser renovado. Por lo cual en este caso de análisis no hay rigidez para seleccionar una alternativa de soporte sobre otra, de nuevo, el objetivo es facilitarles la instalación a los operadores, así que si depende de los operadores seguramente se decanten por el remplazo de un poste de madera por uno prefabricado. Aunque es de considerar que si el municipio tiene pensado actualizar semáforos o paradas de colectivo, se debería considerar que quede planificado un lugar para instalar antenas y sus equipos.

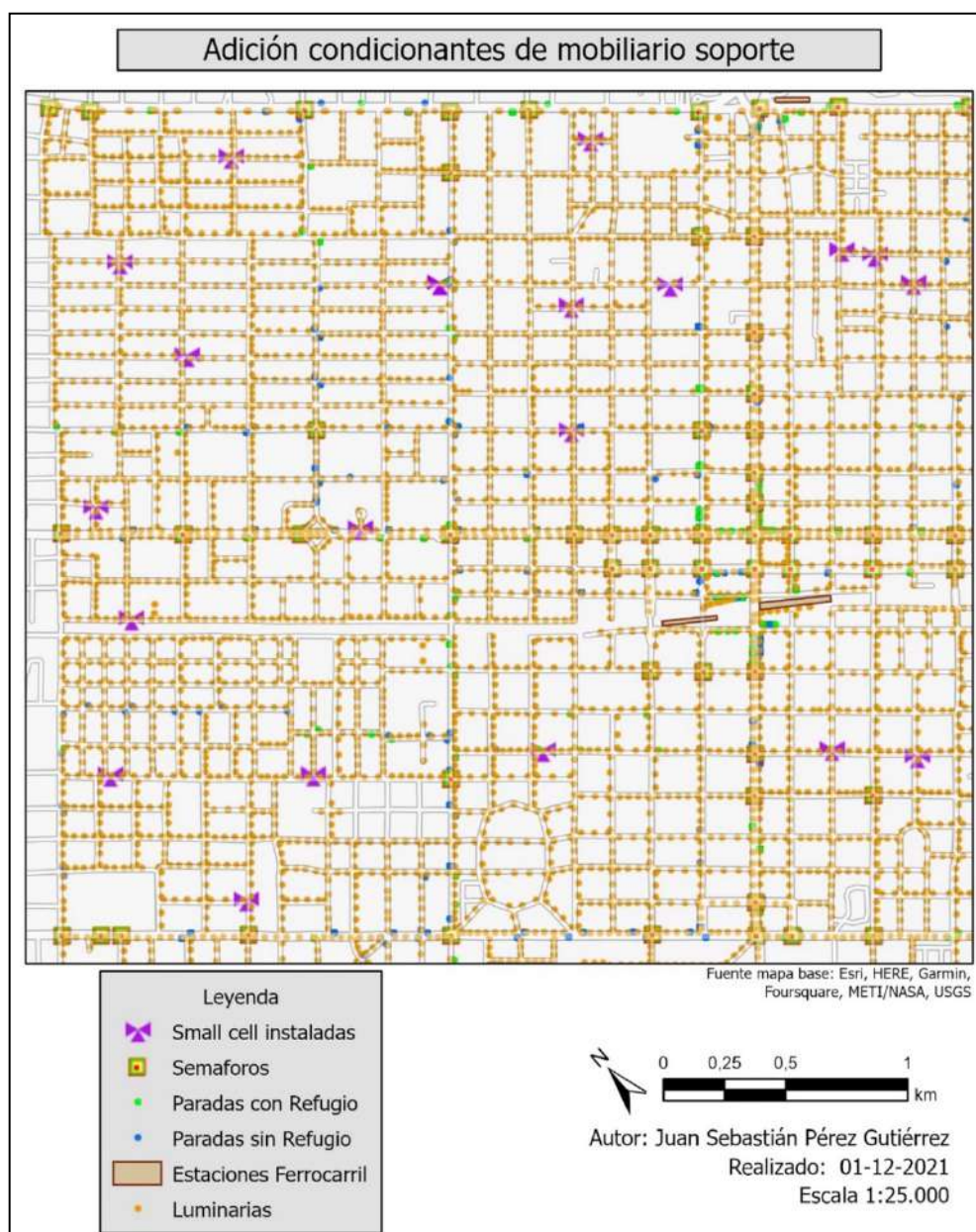


Figura 23 Adición condicionantes de mobiliario soporte. Fuente: Elaboración propia con datos de la MSM

6. Resultados

Tras la distribución espacial considerando radios de cobertura de 200-150 metros, fueron requeridas 119 small cell planificadas, adicionales a las 20 small cell ya desplegadas, para un total de 139 small cell en la localidad de San Miguel. Esto es superior a los 113 small cell totales que fueron estimadas.

Como bien se mencionó cuando se estimó el número de small cell necesarias, al ubicar espacialmente las small cell, su número iba a incrementar, ya que para la estimación realizada mediante la cantidad de usuarios por hectárea (Tabla 4), fue considerada el área de radios de cobertura (circulares), es decir no se tuvo en cuenta que iba a haber traslapes entre radios de cobertura, y tampoco se tiene en cuenta que la trama urbana no es una cuadrícula regular. Así que el incremento en la cantidad de small cells era esperado.

De las 119 small cell planificadas: 47 fueron planificadas de acuerdo a los condicionantes espaciales, de telecomunicaciones, de población y zonificación; 48 fueron planificadas de acuerdo a los condicionantes de transporte; 14 fueron planificadas de acuerdo a los condicionantes de servicios, y 10 fueron planificadas para el completamiento de la “cuadrícula” que garantice que el servicio de telecomunicación móvil se preste a lo largo y ancho de la localidad, este paso se hace de acuerdo a las redes de fibra óptica y la equidistancia con otros sitios planificados.

Durante el proceso de planificación algunas small cell fueron reubicadas o eliminadas, a medida que se iban agregando más capas de información. Así que hay que entender la cantidad de sitios planificados como un todo, de una manera holística, pero para clarificar el desarrollo de esta tesis, se mostraron en diferentes colores a medida que se agregaba más información al modelo, y se puede observar que durante las fases de condicionantes espaciales, de telecomunicaciones, de población y zonificación, y de transporte se ubicaron cerca del 80% de los sitios planificados.

Como resultado de analizar y procesar la información georreferenciada de San Miguel, agrupándola en las 5 categorías de condicionantes, y tras aplicar los pasos de la metodología para la estimación de sitios que propone esta tesis, mostrados en la Figura 3, se logran obtener 119 sitios planificados para el emplazamiento de antenas tipo small cell para el área de estudio, la localidad de San Miguel. Se muestran en la Figura 24, las 20 small cell desplegadas (icono púrpura) y los 119 sitios planificados para el emplazamiento de antenas tipo small cell (puntos púrpura).

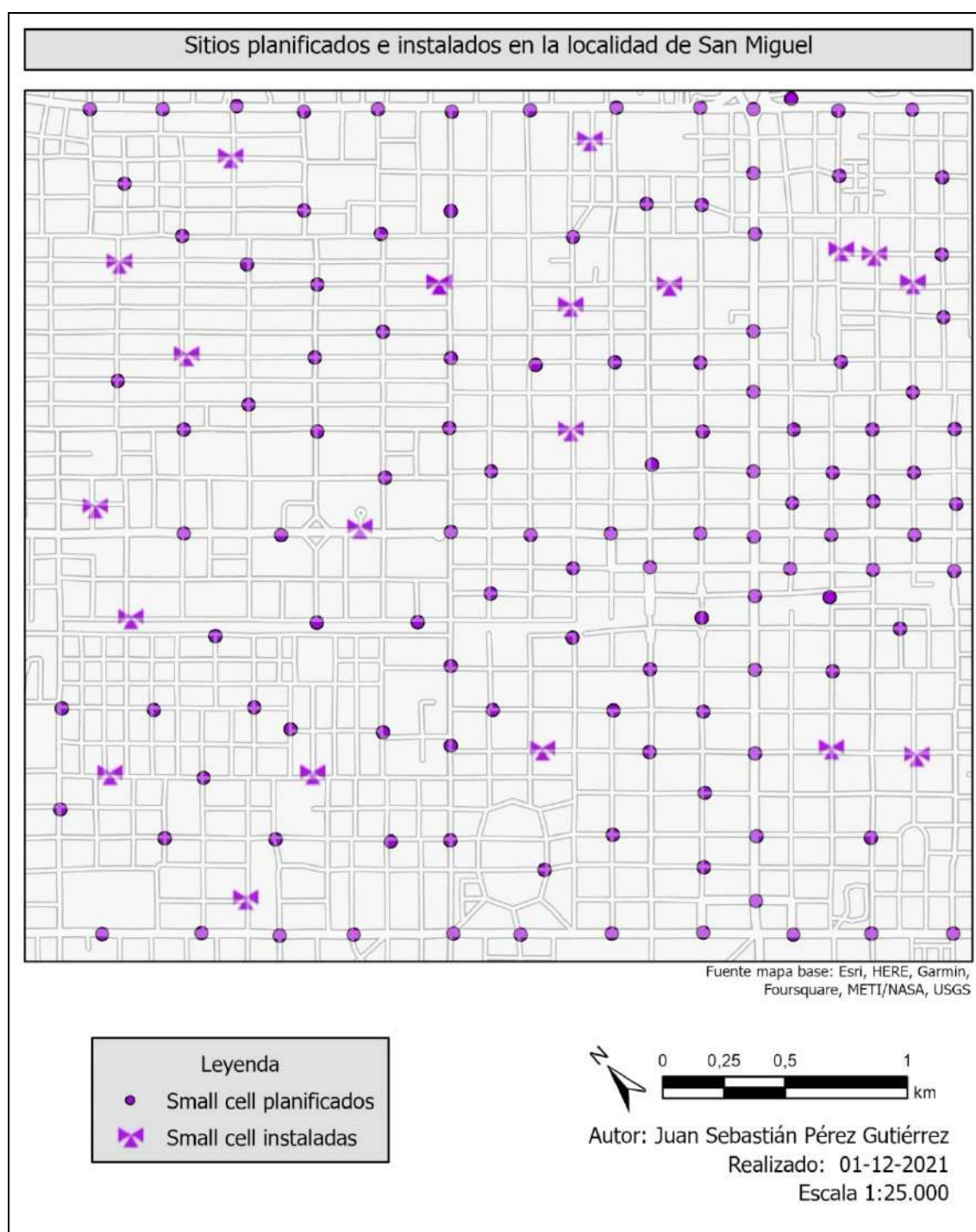


Figura 24 Sitios planificados e instalados en la localidad de San Miguel. Fuente: Elaboración propia

7. Análisis de Resultados

Esta investigación tuvo como objetivo cimentar un puente entre las administraciones locales y los operadores de telecomunicaciones, por lo cual, para la realización de la propuesta de estimación de los sitios donde deberían instalarse small cells, además de las características, redes de infraestructura y determinantes de planificación de la localidad de San Miguel, se requería de un punto de partida en el que se pudieran relacionar cantidad de usuarios y áreas de cobertura, como insumo indispensable para poder llevar a cabo la propuesta que contiene esta tesis.

Se partió del sumario realizado por Nguyen (2017), en el que se relacionan potencias, radios de coberturas, cantidad de usuarios, y si son antenas para interiores o exteriores. Con base en estos datos de partida, se realizaron interpolaciones entre radios de celdas, áreas de celda y usuarios por celda, y se hallaron una serie de combinaciones de usuarios por hectárea, que se mostraron en la Tabla 3. Los resultados obtenidos en dicha tabla se compararon con los datos de densidad poblacional con el fin de encontrar la cantidad de small cells necesarias para satisfacer a la población del área de estudio. Sustentado en lo anterior, se consideró que cada small cell en el área de estudio serviría a 500 personas, sin embargo, como hay zonificaciones que concentran mayor cantidad de personas, se decidió que en dichas áreas cada small cell tuviera un radio de cobertura de 150 metros, mientras que en las áreas restantes el área de cobertura fuera de 200 metros.

En este sentido, se resalta que los radios de cobertura están directamente relacionados con la cantidad de usuarios por hectárea, es decir, con la densidad poblacional del área a servir. Por ejemplo, la Ciudad Autónoma de Buenos Aires tiene una densidad poblacional de 150 habitantes por hectárea, entonces a groso modo de acuerdo con la Tabla 3, requeriría radios de cobertura de 100 metros, manteniendo 500 usuarios por celda. Se aclara que, si se aplicara este método en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, sería muy diferente la cantidad de radios de cobertura y usuarios en microcentro, que en barrios residenciales de baja densidad. Hay que resaltar que para la realización de esta tesis se hace uso de datos de densidad mediante radios censales, con el fin de estimar la población a servir y en donde se ubica, sin embargo, para mayor precisión y exactitud también se deberían tener en cuenta todos aquellos usuarios que se suman por traslados laborales, ocio y esparcimiento, entretenimiento, entre otros; que tienen como destino zonas administrativas del municipio, zonas de oficinas, zonas de entretenimientos y gastronómicas, que son zonas en las que se pueden producir concentraciones mayores de usuarios.

Se calculó que para servir a la totalidad de la población (56.293 habitantes) en el área de estudio, se requerían 113 celdas, y como ya había instaladas 20 small cells, solo era necesario calcular la ubicación estimada de 93 sitios planificados. Sin embargo, de acuerdo a lo esperado con base en las suposiciones hechas para la realización del modelo, se requirieron más celdas que las que habían sido calculadas inicialmente. Para dar cobertura en toda el área de estudio se requirieron 139 celdas, es decir las 20 que ya están instaladas y 119 planificadas.

Para validar lo propuesto se puede emplear la especificación técnica de 3GPP TS 22.261 (2022), en específico la Tabla 7.1-1 “Requisitos de rendimiento para escenarios de alta velocidad de datos y densidad de tráfico”, en la cual se establece la condición de garantizar 15 Gbit/s/tren. Por otra parte, la Comisión Nacional de Regulación del Transporte (2018), señala en su informe de carácter público más reciente, que durante el año 2017 hubo 920 pasajeros promedio por tren. Para validar que la cantidad de sitios planificados están de los umbrales indicados por las recomendaciones de la 3GPP, se asignan los valores contenidos en la Tabla 7.1-1, una velocidad experimentada por el usuario de 50 Mbit/s, con un factor de actividad del 30%, a un tren que pasa por una small cell planificada con un radio de cobertura de 150 metros en la Localidad de San Miguel.

$$50 \text{ Mbit/s} * 920 * 30\% = 13,8 \text{ Gbit/s/tren} < 15 \text{ Gbit/s/tren}$$

Con este resultado se validan los radios de cobertura y la cantidad de small cell planificadas propuestas mediante esta tesis, ya que 13,8 Gbit/s/tren está dentro de los umbrales recomendados por 3GPP, sin embargo, para una validación más rigurosa se tendrían que probar más escenarios, que a su vez pueden requerir inputs de población o de transporte más detallados a los que fueron empleados como información base para la realización de esta tesis.

Como resultado final de la aplicación de este modelo en condiciones reales, se puede obtener un tablero geográfico de control con los sitios planificados para instalar small cells en un municipio, que consume capas que provienen de la instancia de generación de mapa, que fue realizada mediante esta investigación. Lo propuesto en esta tesis puede considerarse como una iniciativa govtech, principalmente como de Gestión Pública e Integridad, aunque también como de Infraestructura Digital y de Provisión de Servicios Públicos, como se indica en el marco teórico de esta investigación.

Como se mencionó, para la realización de este modelo se realizaron las siguientes cuatro suposiciones: 1) Todos y cada uno de los habitantes tiene un solo equipo para conectarse a una celda; 2) Se considera a San Miguel como un entorno aislado y cerrado, es decir no hay condiciones de frontera, y sus habitantes se mueven dentro de la localidad, sin que entre ni salga nadie; 3) Se calcula el número de usuarios con base en los radios de cobertura, conformando una cuadrícula, por llamarlo de alguna manera, sin considerar que hay áreas traslapadas. 4) El cálculo se hace en base a la densidad poblacional, es decir, donde las personas residen, mas no por donde se mueven y demandan servicios móviles, por eso es necesario revisar los Usos de Suelo, infraestructuras y servicios, para poder planificar los sitios de una manera más lógica. Ahora bien, en el desarrollo del marco teórico de esta tesis, se resalta que empresas del sector de telecomunicaciones/TIC de gran envergadura también realizan varias suposiciones en sus modelos desarrollados de

Machine Learning para optimizar la planificación de telecomunicaciones. Es decir, en este tipo de escenarios en los que se proponen soluciones innovadoras que permitan crear y analizar propuestas y modelos en búsqueda del avance tecnológico, es común el uso de suposiciones.

Los sitios planificados por si solos pueden potenciar la agilización de instalación de antenas tipo small cell. Sin embargo, con la implementación y uso intensivo de la compartición de infraestructura, la llegada del Open RAN, y las redes neutras; los sitios planificados pueden potenciar aún más la agilización de instalación de antenas tipo small cell. Adicionalmente, se reitera lo mencionado en el marco teórico, la fibra desplegada es fundamental para que las estaciones base de 5G puedan ofrecer la calidad de servicio ofrecida por su estándar, funcionando la fibra para soluciones xPON (Red Óptica Pasiva) en partes de la red como el FrontHaul (estación base – oficina central) o el BackHaul (oficina central – red troncal//backbone/internet) del nodo 5G. Por lo tanto, la red de fibra óptica no es solo muy importante para el funcionamiento de 5G, sino además es un input muy valioso para la aplicación de la metodología que propone esta tesis.

Es posible afirmar que, tras una ardua labor, la hipótesis que motivo el desarrollo de esta tesis exploratoria, se ha comprobado, ya que, con base en las características, redes de infraestructura, y los determinantes de planificación urbana de la Localidad de San Miguel, se estimaron las ubicaciones donde deberían ser instaladas antenas tipo small cell.

8. Recomendaciones y Conclusiones

En el desarrollo del marco teórico de esta investigación se aborda la evolución de los diferentes tipos de infraestructuras, se expone el dinamismo intrínseco en las infraestructuras y su vocación a la experimentación, innovación y evolución. Además, dentro de las diversas infraestructuras, la de telecomunicaciones es la que tiene mayor vocación de desarrollo tecnológico de manera acelerada, llegando a ser una evolución exponencial.

También se hace referencia al ecosistema govtech, para mostrar que el uso de información y datos que poseen las administraciones locales, es una tendencia global para mejorar el funcionamiento de los gobiernos, y que esto se ve reflejado en una mejor calidad de vida para los ciudadanos. Es decir, hay que aprovechar el dinamismo que permite la tecnología, para optimizar el funcionamiento de los gobiernos locales, en contra posición a las rígidas normativas locales.

En relación a lo anterior, el análisis realizado para definir los puntos ideales para colocar a futuras small cells en función de: las redes de fibra óptica y small cells ya desplegadas, además de los diferentes tipos de condicionantes como se agruparon para esta tesis, estaría incumpliendo un requerimiento de la Normativa Municipal vigente al momento de

realizar esta investigación, ya que la Ordenanza prohibía de forma arbitraria la instalación de antenas a menos de 500 metros de espacios verdes públicos, lugares históricos, hospitales, centros de salud, centros educativos, geriátricos, entre otros. Esto evidenció el atraso de normativo, comparándola con otras municipalidades del Gran Buenos Aires, donde los respectivos Honorables Consejos Deliberantes habían eliminado este tipo de vetos. Ya que, tras décadas de estudios sobre el efecto de radiaciones no ionizantes en seres vivos, a la fecha no se ha encontrado ningún perjuicio a la salud.

Con base en los tópicos ampliamente abordados en esta investigación, para el nivel de desarrollo tecnológico actual, los requerimientos de la industria y de los ciudadanos, no es funcional que el despliegue de antenas continúe regido por normativas rígidas, que fueron válidas y adecuadas en décadas pasadas, pero no en la actualidad en un nicho de tan rápida evolución y obsolescencia tecnológica. Con la llegada de 5G y las subsiguientes generaciones tecnológicas, dichas normativas rígidas y prohibitivas están condenadas a ser siempre anacrónicas y desaceleradoras del desarrollo y el progreso. La metodología que propone esta tesis es parte del ecosistema govtech, y se constituye como un potencial sustituto a esas normativas que no pueden adaptarse de una manera eficiente a un rubro que experimenta evoluciones tecnológicas tan rápidas.

Bajo el supuesto que la combinación de la planificación municipal y el mercado de las telecomunicaciones podría acelerar el despliegue de la infraestructura, se aclara que el modelo propuesto no debe considerarse exactamente como un modelo de planificación de telecomunicaciones, sino como una herramienta que construye un puente entre la administración pública y las compañías relacionadas a la prestación de servicios de telecomunicación móvil y FWA. Con el fin de agilizar la instalación de antenas, e incentivar su despliegue en zonas de diversos estratos socioeconómicos, debido a la simpleza del proceso. Se propone que los municipios sean proactivos planificando, en vez de su rol convencional reactivo a la solicitud de los operadores.

Este nuevo enfoque propuesto y el posible éxito de su implementación, no debería medir su efectividad en parámetros de ocupación de la totalidad de los sitios planificados, o por lo contrario, en que no se ocupe ninguno de ellos. Debería medirse en función de que si un municipio emplea esta herramienta y un porcentaje cualquiera de los sitios planificados es ocupado, entonces se ha ahorrado el tiempo de trámites y costo de oportunidad (casi 2 años en ocasiones), y puede decirse que la herramienta ha ayudado y funcionado, porque se ha agilizado el despliegue de antenas en aquel porcentaje de sitios ocupados. Es más, con que solo un sitio de los planificados se ocupe, ya podría considerarse que el modelo ha funcionado.

Ahora bien, no debe olvidarse que esta tesis propone una herramienta para ayudar a las ciudades a enfrentar los desafíos del planeamiento y gestión de las telecomunicaciones y su infraestructura, abordado desde la institucionalidad local, sin embargo, la prestación de los servicios y las inversiones usualmente son realizadas por el sector privado. Por lo tanto,

el porcentaje de sitios planificados que puedan ocuparse depende en gran medida de los operadores de telecomunicaciones, por lo cual es importante incentivar la inversión con tasas justas por habilitación y verificación de antenas, tasas que tengan como fin el cierre de la brecha digital dentro de la búsqueda del bienestar social.

BIBLIOGRAFÍA

- 3GPP. (2017). TR 38.802. *Study on New Radio Access Technology Physical Layer Aspects (Release 14)*.
- 3GPP. (2019). TR 21.915. *Release 15 Description; Summary of Rel-15 Work Items*.
- 3GPP. (2021). TR 38.808. *Study on supporting NR from 52.6 GHz to 71 GHz (Release 17)*.
- 3GPP. (2022). TS 22.261. *Service requirements for the 5G system; Stage 1 (Release 19)*.
- 3GPP. (2022). TS 38.104. *Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 18)*.
- 5G Americas. (2020). *Bandas de ondas milimétricas (MMWave) para 5G en América Latina y el Caribe*. 5G Americas.
- 5G Americas. (2020). *Identificación de habilitadores para la implementación de redes 4G y 5G en América Latina*. 5G Americas.
- Alvarado, R., Diaz, C., Gómez, D., & Martinez, M. (2018). La brecha digital: una revisión conceptual y aportaciones metodológicas para su estudio en México. *Entreciencias: Dialogos en la Sociedad del Conocimiento*, 49-64.
- Anzola, M. F. (2020). Del 1G al 5G: la evolución de las redes móviles tras el cambio de generación. *Telecomunicaciones en America Latina*, 4-6.
- Arquitectura Pura. (12 de Abril de 2021). *¿Qué es la infraestructura urbana?* Recuperado el 20 de Noviembre de 2021, de Blog de Arquitectura Pura: <https://www.arquitecturapura.com/que-es-la-infraestructura-urbana/>
- Arquitectura Pura. (01 de Junio de 2021). *3 conceptos clave en la Infraestructura urbana*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2021, de Blog de Arquitectura Pura: <https://www.arquitecturapura.com/urbanismo/infraestructura-urbana-17806/>

- Asia-Pacific Economic Cooperation - APEC. (2011). *Survey Report on Infrastructure Sharing and Broadband Development in APEC Region*. SOM Steering Committee on Economic and Technical Cooperation (SCE).
- Asociación Colombiana de Ciudades Capitales. (2019). *Instrumentos de Planificación, Gestión, Financiación y Financiamiento*. Bogotá.
- Asociación Colombiana de Ciudades Capitales. (2020). *Los objetivos de Desarrollo Sostenible una oportunidad para las ciudades capitales*. Bogotá.
- Asociación Interamericana de Empresas de Telecomunicaciones - ASIET. (2019). *Las telecomunicaciones un aliado estratégico para el desarrollo de América Latina*. ASIET.
- Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional - AFIN. (30 de Noviembre de 2021). *Mas antenas, mejor comunicación*. Obtenido de <http://www.masantenasperu.com/>
- Banco de Desarrollo de America Latina - CAF. (2020). *Govtech y el futuro del gobierno*. Corporacion Andina de Fomento.
- Banco Interamericano de Desarrollo - BID. (2019). *Development of a regional infrastructure sharing strategy*.
- Banco Interamericano de Desarrollo - BID. (2020). *Red de infraestructura de conectividad digital: Metodologia de Simplificacion regulatoria*.
- CAF; CEPAL. (2020). *Las oportunidades de la digitalización en América Latina frente al Covid-19*. Corporación Andina de Fomento y Naciones Unidas.
- Callejas Montero, Á. J. (2019). Brecha digital y determinantes de la demanda de acceso al servicio de Internet de Banda Ancha en América Latina. *Working Papers cet.la*.
- Ceppi, P. (7 de Diciembre de 2020). *Ciudades secundarias: Cómo la infraestructura dura y blanda puede mejorar la colaboración y dar soporte a la competitividad para lograr un crecimiento equitativo*. Obtenido de Blog del Banco Interamericano de Desarrollo: <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/ciudades-secundarias-como-la-infraestructura-dura-y-blanda-puede-mejorar-la-colaboracion-y-dar-soporte-a-la-competitividad-para-lograr-un-crecimiento-equitativo/>
- Colombia Compra Eficiente. (2019). *Guía de Compra Pública para la Innovación*. Bogotá.
- Comisión de Regulación de Comunicaciones - CRC. (2020). *Código de buenas prácticas para el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones*. Bogotá.

- Comisión de Regulación de Comunicaciones. (2019). *Calculo Índice de favorabilidad al despliegue de infraestructura de telecomunicaciones en las capitales del país*.
- Comisión de Regulación de Comunicaciones. (Agosto de 2020). <https://www.crcom.gov.co/es/pagina/infraestructura#descargar-guia>.
- Comisión de Regulación de Comunicaciones. (2020). *Proyecto de Agenda Regulatoria CRC*. Bogotá.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL. (2020). *Las oportunidades de la digitalización en América Latina frente al Covid-19*.
- Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante -ICNIRP-. (Marzo de 2020). *ICNIRP*. Obtenido de <https://www.icnirp.org/en/activities/news/news-article/rf-guidelines-2020-published.html>
- Comisión Nacional de Regulación del Transporte . (2018). *Informe Estadístico Anual - Línea San Martín*.
- Comunidad Europea - CE. (21 de Julio de 2020). Características de los puntos de acceso inalámbrico para pequeñas áreas. *Diario Oficial de la Unión Europea*, págs. L 234/11-15.
- Congreso Latinoamericano de Telecomunicaciones. (2019). *Telecomunicaciones de América Latina*. ASIET.
- Constantinidis, B. (2018). Planificación sostenible para la oferta de servicios educativos privados en el ámbito urbano, a través del uso de Sistemas de Información Geográfica. *Perspectivas: Revista Científica de la Universidad de Belgrano*, 1(1), 85-99.
- Constantinidis, B. (2023). El catastro multipropósito en Argentina. Uso eficiente de la Información Geoespacial para una planificación sostenible del territorio. *III Simposio Internacional de Doctorandos en Desarrollo Urbano Sustentable en Latinoamérica y el Caribe 2023*. CEDEUS y REDEUS LAC, Pontificia Universidad Católica de Chile. Obtenido de <https://redeus.org/barbara-constantinidis/>
- Constantinidis, B., & Ricard, M. (10 de Febrero de 2020). Última Milla: Recolección de datos en cualquier momento y lugar. *DCCI20 - Distritos Competitivos & Ciudades Integradas. Foro y Programa Internacional IAE-IESE Cities in Motion*. Pilar.
- Constantinidis, B., Orduna, M., & Otero, M. d. (2022). *Metodología para la planificación de subcentralidades urbanas: el caso del Corredor San Martín, Ciudad de Buenos Aires – Argentina*. Buenos Aires: Editorial Académica Española.

- Contreras Garcia, V. (30 de Septiembre de 2021). *América Móvil escinde su negocio de torres en la región*. Obtenido de Digital Policy Law News: <https://digitalpolicylaw.com/america-movil-escinde-su-negocio-de-torres-en-la-region/>
- Contreras Garcia, V. (12 de Julio de 2021). *Digital Policy Law News*. Obtenido de DPL News: <https://digitalpolicylaw.com/dos-caras-de-una-tecnologia-que-es-5g-nsa-y-5g-sa/>
- Contreras Garcia, V. (17 de Marzo de 2021). *Redes compartidas: el paradigma que vive un nuevo aliento con 5G*. Obtenido de Digital Policy Law News: <https://digitalpolicylaw.com/redes-compartidas-el-paradigma-que-vive-un-nuevo-aliento-con-5g/>
- Crespo, P. (2019). Argentina: the eternal promise. *TowerXchange Americas Dossier 2019. Your guide to the CALA tower industry*, 84-88.
- Del Valle Diaz, A. (2012). *Diseño, integración y optimización de estaciones base de segunda generación*. Barcelona.
- Diaz, D. (15 de Agosto de 2019). *Gestión Inteligente del Agua*. Obtenido de Aeroterra: <https://www.aeroterra.com/es-ar/novedades-noticias/aeroterra-blog/gobierno-servicios-publicos/gestion-inteligente-agua>
- Doodewaard, M. v. (2021). ICT Policies and Strategies. *UNESCAP*, (pág. 69).
- DPL Consulting. (2020). *Telecomunicaciones: Infraestructuras Críticas y Servicios Digitales Escenciales*. Digital Policy and Law Consulting.
- Duran, M. (27 de Mayo de 2021). *Implementación de la Solución SIG en el Gobierno Autónomo Municipal de Santa Cruz de la Sierra*. Obtenido de SIG EN LOS GOBIERNOS MUNICIPALES: <https://storymaps.arcgis.com/stories/15a16c0e8339470c9a0609f35b50c4a6>
- Environmental Systems Research Institute - ESRI. (2012). *Simplifying Fiber Backhaul Connection*. Phoenix.
- Environmental Systems Research Institute - ESRI. (2021). *Improving Contractor Workflows with Mobile Apps*.
- Ericsson. (2019). *Fixed Wireless Access Handbook*. Ericsson AB.
- Fajardo Muriel, A. (2007). *El espacio público en las telecomunicaciones*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Felguera, E. (24 de Noviembre de 2021). *The strategic need to foster an Open RAN ecosystem for Europe*. Obtenido de www.telefonica.com:

<https://www.telefonica.com/en/communication-room/blog/the-strategic-need-to-foster-an-open-ran-ecosystem-for-europe/>

- Fernández, Y. (9 de Julio de 2019). *Xataka*. Obtenido de <https://www.xataka.com/basics/que-son-el-ping-y-la-latencia-y-por-que-no-solo-importa-la-velocidad-en-tu-conexion>
- Fundación para el conocimiento Madrid. (2021). *Lista Govtech 2021 - Govtechlab Madrid*. Madrid: Instituto de Empresa.
- Garcia Zaballos, A., Iglesias, E., & Adamowicz, A. (2019). *El impacto de la infraestructura digital en los Objetivos de Desarrollo Sostenible: un estudio para países de América Latina y el Caribe*. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Gomes De Almeida, M. T. (2019). Internet Para Todos, una nueva alternativa para romper la brecha digital. *TowerXchange Americas Dossier 2019*.
- GSMA. (2020). *2020 Mobile industry report: sustainable development goals*. GSMA.
- Hounghonon, G., Rossotto, C., & Strusani, D. (2021). *Enabling Private Investment in 5G Connectivity in Emerging Markets—An Assessment of Challenges and Policy Options*. International Finance Corporation.
- IE University. (2021). *Lista Govtech 2021 - IE PublicTech Lab*. Madrid.
- INATEL. (2020). *5G y IoT - Tendencias y aplicaciones*.
- Institut Cerdà. (2019). *Densificacion y racionalizacion de las redes 5G en el territorio*. Barcelona.
- Katz, R. (2015). *EL ecosistema y la economia digital en America Latina*. Barcelona: Ariel.
- Larocca, N. (16 de Septiembre de 2021). *Grandes diferencias entre las declaraciones de Internet como servicio público en Argentina y Colombia*. Obtenido de Digital Policy Law News: <https://digitalpolicylaw.com/grandes-diferencias-entre-las-declaraciones-de-internet-como-servicio-publico-en-argentina-y-colombia/>
- Levy, G. (23 de Febrero de 2021). *Desafíos y oportunidades de la Tercerización de redes e infraestructura*. Obtenido de Andinalink: <https://andinalink.com/desafios-y-oportunidades-de-tercerizacion-de-redes-e-infraestructura/>
- Lopez, G. A. (2008). ¿LAS INFRAESTRUCTURAS COMO PROYECTO DE CIUDAD? ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE BURGOS, CIUDAD INTERMEDIA DE CASTILLA Y LEÓN. *Ciudades 11*, 105-132.

- Masmovil. (29 de Junio de 2014). *Másmóvil Blog Oficial*. Obtenido de <https://blog.masmovil.es/la-evolucion-de-la-tecnologia-movil-1g-2g-3g-4g/>
- Municipalidades en Argentina. (28 de Noviembre de 2021). *El municipio de San Miguel*. Obtenido de Municipalidades en Argentina: <https://www.municipalidad-argentina.com.ar/municipalidad-san-miguel-b.html#>
- Nguyen, T. (17 de Mayo de 2017). *Blog de qorvo*. Obtenido de <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/small-cell-networks-and-the-evolution-of-5g>
- ONU Habitat. (2017). *Mérida. Iniciativa de las ciudades prosperas*.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos - OCDE. (2005). *Guiding principles for regulatory quality and performance*.
- Pérez Mantilla, S. (2019). *El sistema de comunicaciones móviles de próxima generación 5G y su caso de uso IoT*. Barcelona.
- Programa de Estudios del Conurbano. (2016). *San Miguel*. Obtenido de Atlas del conurbano bonaerense: <http://www.atlasconurbano.info/pagina.php?id=308>
- Qorvo. (2020). *5G RF for dummies*. New Jersey.
- Radiocomunication Sector of ITU - ITU-R. (2017). *Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)*. Ginebra.
- Ramírez-Alujas, Á., & Jolías, L. y. (2021). *GovTech en Iberoamérica. Ecosistema, actores y tecnologías para reinventar el sector*. Bahía Blanca, Argentina: GovTech Hub.
- República Argentina. (14 de Diciembre de 2020). Resolución 105/2020. *Reglamento de Compartición de Infraestructura Pasiva*. Ciudad de Buenos Aires, Argentina.
- Rosas Tapia, D. (27 de Junio de 2018). *TES America*. Obtenido de <https://www.tesamerica.com/que-es-el-espectro-radioelectrico/>
- Rusell, E. (2020). Despliegue de infraestructuras y conflictos municipales. Algunos enfoques posibles para cambiar el paradigma actual. *SmC+ Digital Public Affair*.
- Secretaria de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Argentina. (2018). *Compartición de infraestructura pasiva. Antecedentes, análisis y conclusiones a partir de la finalización del proceso de consulta pública*.
- Selwyn, N. (2004). Reconsidering political and popular understandings of the digital divide. *New Media and Society*, 341-362.

- Small Cell Forum. (2016). *Small cell siting: regulatory and deployment considerations*. Small Cell Forum Ltd.
- Small Cell Forum. (2018). *Small cell siting challenges and recommendations*. Small Cell Forum Ltd.
- Small Cell Forum. (2019). *Precision Planning for 5G Era Networks with Small Cells*.
- Small Cell Forum. (2020). *5G small cell architecture and product definitions: Configurations and Specifications for companies deploying small cells 2020-2025*. Small Cell Forum Ltd.
- Subdirección General de Estadísticas Ciudad de Buenos Aires. (2015). *Buenos Aires en Numeros*. Buenos Aires. Obtenido de Ciudad de Buenos Aires.
- Subtel. (2005). Estudio relativo a la actualización del Plan General de Uso del Espectro Radioeléctrico. En Subtel, *Actualización Marco Regulatorio y Evolución Sector de Telecomunicaciones* (pág. 19). Santiago de Chile.
- Sunkel, G. (2006). *Las tecnologías de la información y la comunicación (tic) en la educación en América Latina*. Santiago de Chile: CEPAL - Naciones Unidas.
- Tahta, A. (2019). Argentina needs to build 50,000 towers in the next five years. *TowerXchange Americas Dossier 2019*, 143-148.
- Ufinet. (2020). *Especificaciones técnicas despliegue de infraestructura de sitios WICAPS*. Buenos Aires.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT. (2015). Radiocomunicaciones en constante evolución. *150 años de innovación en la UIT*, 11-17.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT. (2018). *Sentando las bases para la 5G: Oportunidades y Desafíos*.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT. (2020). *Economic impact of Covid-19 on digital infrastructure*.
- Universidad Internacional de Valencia. (21 de Marzo de 2018). *Universidad Internacional de Valencia*. Obtenido de <https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros-expertos/evolucion-de-la-red-de-comunicacion-movil-del-1g-al-5g>
- Winazky, E. (2019). Permits and taxation remain principle barriers to be overcome in Argentina. *TowerXchange Americas Dossier 2019*, 89-92.
- World Economic Forum. (2014). *Delivering Digital Infrastructure Advancing the Internet Economy*.

ACERCA DE LA MAESTRÍA

Maestría en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana

Carrera desarrollada por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, la Universidad Tecnológica Nacional (Facultades Regionales Avellaneda, Pacheco y Buenos Aires) y el Consejo Profesional de Ingeniería Civil (CPIC).

Acreditada por la CONEAU (Resolución N° 164/21).

Resolución Ministerial con Validez Nacional (Resolución 1593-20).

DIRECTORES:

DIRECTOR ACADÉMICO: Dr. Ing. Alejandro J. Sarubbi

DIRECTOR EJECUTIVO: Dr. Ing. Alejandro J. Sarubbi

COORDINACIÓN ADMINISTRATIVA: Matías Espiño

REQUISITOS DE ADMISIÓN:

Ingenieros Civiles, Ingenieros en Construcciones, Ingenieros Viales, Ingenieros Hidráulicos, Ingenieros en Vías de Comunicación, Ingenieros Agrimensores, Agrimensores, Arquitectos, y otros títulos de disciplinas afines.

La admisión de los aspirantes estará sujeta al análisis de los antecedentes académicos y profesionales, y su compatibilidad con los contenidos de la carrera, por parte del Comité Académico.

Los aspirantes podrán realizar su preinscripción en el Consejo Profesional de Ingeniería Civil.

Resulta necesario presentar: Título de grado legalizado (se admitirá título en trámite para egresados de las Facultades de la UTN y UBA), apostilla de La Haya (sólo para estudiantes recibidos en otro país), certificado analítico y Curriculum Vitae.

OBJETIVOS DE LA MAESTRÍA:

Formar profesionales capaces de intervenir en la planificación y gestión de la ingeniería urbana

Comprender la problemática del funcionamiento integral de las grandes ciudades, con una clara noción de la interdependencia de los distintos factores concurrentes.

Alcanzar una cosmovisión integral de la compleja interdependencia de los factores que inciden en la calidad de vida del habitante de una ciudad.

Participar en el planeamiento, implementación y gestión de las obras de índole urbana, con criterio transdisciplinario y una visión de sustentabilidad.

Dominar conceptos e instrumentos avanzados a fin de adaptarse a la dinámica de cambio del sector.

Propender al desarrollo de todos los aspectos de la ingeniería urbana, generando y manteniendo actividades de investigación, desarrollo y transferencia tecnológica en el área.

Desempeñarse con idoneidad y responsabilidad social, en la esfera de la ingeniería urbana, en niveles directivos del ámbito público o privado.

PERFIL DEL GRADUADO:

El profesional egresado de la Maestría estará especialmente preparado para:

- Desarrollar procesos de investigación en áreas específicas de planeamiento y gestión.
- Planificar, coordinar, evaluar proyectos, implementar y gerenciar programas de desarrollo urbano que integran la infraestructura de las grandes ciudades, teniendo en cuenta los aspectos tecnológicos, económicos, sociales y ambientales.
- Participar en equipos multidisciplinarios, con la capacidad y disposición para integrar sus propios saberes a los de las otras disciplinas intervinientes.
- Diseñar y desarrollar alternativas tecnológicas, de procedimientos y de mejoramiento que favorezcan el desarrollo sostenible y generen una mejora de la calidad de vida en la ciudad, optimizando la utilización de los recursos.
- Gerenciar proyectos adecuados social y ambientalmente en instituciones públicas o privadas dedicadas al planeamiento, diseño, construcción, y promoción del hábitat urbano.
- Participar en el análisis y evaluación de proyectos, su gestión e implementación, y desenvolverse adecuadamente y con eficacia en organizaciones dedicadas a la gestión urbana.
- Asesorar a instituciones públicas o privadas en la implementación de soluciones técnicas, ambiental y socialmente apropiadas.

MODALIDAD DE CURSADA:

Presencial/virtual, cursada regular. Los seminarios y cursos de la Maestría tienen una duración variable según el Plan de Estudios, y se dictan los días martes y jueves, de 18 a

22 horas, desde marzo a diciembre de cada año. Se cursa en modalidad híbrida (virtual y presencial) en la Sede del CPIC:

Alsina 430, Ciudad de Buenos Aires.

DURACIÓN:

Dos años de cursado, con el desarrollo y defensa de la Tesis.

PROCESO DE INSCRIPCIÓN:

Preinscripción por mail a: maestria@cpic.org.ar

Se debe presentar digitalmente la documentación necesaria para coordinar un horario de Entrevista de Admisión.

MÁS INFORMACIÓN:

<https://www.ingenieriaurbana.com.ar/>

maestria@cpic.org.ar

ACERCA DE LOS AUTORES

Andrea Karina Granja Carrera

Ingeniera Civil, graduada en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE), 2018. Magíster en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana por la Universidad de Buenos Aires, la Universidad Tecnológica Nacional y el Consejo Profesional de Ingeniería Civil, 2022.

Especialización en Ingeniería Hidráulica, Hidrología y Gestión de Recursos Hídricos por la Universidad Nacional de La Plata, 2023, e investigadora en Sedimentología en la Universidad de Sao Paulo, 2025.

Profesional enfocada en la planificación, modelación y gestión integral de cuencas hidrográficas y proyectos de infraestructura hídrica. Su trayectoria incluye más de tres años en la administración, fiscalización y control de obra pública en el sector de recursos hídricos, vialidad y servicios sanitarios, con participación destacada como residente de obra en el proyecto del Metro de Quito y como técnica en la Subsecretaría de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires. Ha desarrollado investigaciones y herramientas técnicas para la gestión de zonas bajas con amenazas hidrológicas, aplicando modelación hidráulica e hidrológica (HEC-RAS, HEC-HMS) y sistemas de información geográfica. Actualmente, se desempeña como consultora independiente en el modelado de cuencas y análisis sedimentológico, orientada a la implementación de sistemas de alerta temprana y a la planificación sostenible de territorios con vulnerabilidad hídrica.

Gabriel Nicolás Tryfón

Ingeniero Civil egresado en la Universidad Tecnológica Nacional en su Facultad Regional Avellaneda, 2017.

Especialista en Gestión de Empresas de Agua y Saneamiento egresado en la Universidad Nacional de Tres de Febrero, 2018.

Curso de Programa para el Desarrollo de Competencias para la Formación Docente y la Formación Profesional egresado en la Escuela de Posgrado de Agua, Saneamiento y Ambiente, 2020.

Curso de Peritaje sobre contaminación hídrica por efluentes egresado en la Fundación de los trabajadores sanitarios para la formación y el desarrollo, 2023.

Magister en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana egresado en el Consejo Profesional de Ingeniería Civil, 2024.

Curso de Presas y embalses para todos (edición 11) egresado en la Universidad Politécnica de Madrid, 2025.

Desde el año 2015, me desempeño en el sector de Planificación y Diagnóstico Técnico en la célula de cloaca en Aguas y Saneamientos Argentinos S.A. dentro de la Dirección Regional Sudeste, que involucra los municipios de Avellaneda, Lanus, Quilmes y Florencio Varela.

Ha ejercido como expositor en las Jornadas de Ingeniería Química Sustentable en la Universidad Tecnológica Nacional, 2019; en el seminario Gestión de Proyectos Sostenibles para las ciudades del Futuro en la Universidad Tecnológica Nacional, 2023 y en las Jornadas de Vinculación Tecnológica y Construcciones Sustentables del departamento de Ingeniería Civil en la Universidad Tecnológica Nacional, 2023 y 2025.

Profesor adjunto de cátedra en la asignatura “Matemática” en la Universidad Nacional de Avellaneda y ayudante de cátedra en las asignaturas de “Instalaciones Sanitarias y de Gas” y “Geotecnia” en la Universidad Tecnológica Nacional. Docente universitario desde 2017.

Juan Sebastián Pérez Gutiérrez

Ingeniero Civil, graduado en la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C, 2014

Magíster en Planificación y Gestión e la Ingeniería Urbana por la Universidad de Buenos Aires, la Universidad Tecnológica Nacional y el Consejo Profesional de Ingeniería Civil, 2023

Profesional enfocado en la gestión pública para el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones y la transformación digital. Experiencia profesional que incluye 5 años en organizaciones internacionales en el campo de las telecomunicaciones, con especial interés en la coordinación de proyectos, planificación, gestión e investigación. Experiencia en proyectos orientados al desarrollo de soluciones innovadoras que reduzcan la brecha digital, especialmente en países en desarrollo.

Ganador de desafíos lanzados por la UIT y el BID por propuestas de innovación, participando en el en la reunión de primavera 2022 de la Comisión de Banda Ancha UIT-UNESCO “Driving Inclusive Digital Transformation”. Exmiembro del grupo ITU Generation Connect y, desde hace más de tres años, funcionario en la sede de la OEA/CITEL en Washington DC.

AUTORIDADES DEL CONSEJO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

PRESIDENTE

Ing. Civil José María Girod

VICEPRESIDENTE

Ing. Civil Pablo Luis Diéguez

SECRETARIO

Ing. Civil Ignacio Luis Vilaseca

PROSECRETARIO

Ing. Civil Jorge Ernesto Guerberooff

TESORERO

Ing. Civil Andrés Malvar Perrin

CONSEJEROS TITULARES

Ing. Civil Mariana Corina Stange

Ing. Civil Jorge Enrique González Morón

Ing. en Construcciones Adriana Beatriz García

Ing. Civil Juan Yacopino

Ing. en Construcciones Carlos Gustavo Gauna

MMO Diego Kodner

CONSEJEROS SUPLENTE

Ing. Civil Victorio Santiago Díaz

Ing. Civil Ana María Luján Leanza

Ing. Civil Fernando Andrés Rodríguez

Ing. Civil Alejandro Pedro Yaya

MMO Ezequiel Iannotta

ASESOR LEGAL

Dr. Diego Martín Oribe

ASESOR CONTABLE

Dr. Jorge Socoloff

COMISION DE PUBLICACIONES

Ing. Civil Luis Enrique Perri

Ing. Civil Enrique Alberto Sgrelli

Ing. Civil Jorge Guerberooff

Ing. Civil Victorio Santiago Díaz

Ing. en Construcciones Adriana García

Ing. Civil Carlos Alberto Alfaro

Ing. Civil Alberto Sáez

Arq. Gustavo Di Costa

MAESTRÍA EN PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE LA INGENIERÍA URBANA



Conocimiento activo para construir ciudades más sostenibles • Volumen V

La Maestría en Planificación y Gestión de la Ingeniería Urbana (MPyGIU), impulsada por la colaboración entre la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FIUBA), la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) y el Consejo Profesional de Ingeniería Civil (CPIC), se consolida como un programa pionero en su campo en Argentina. Su enfoque se centra en integrar la ingeniería civil y disciplinas afines para abordar desafíos complejos de las ciudades contemporáneas, promoviendo soluciones innovadoras y sostenibles.

Diseñada para profesionales graduados en ingeniería civil, arquitectura, ingeniería en construcciones, vial, hidráulica y áreas relacionadas, la MPyGIU ofrece una formación técnico-científica rigurosa. Esta capacitación les permite a sus egresados liderar proyectos urbanos que integren infraestructura, edificaciones y equipamiento, con un enfoque en la mejora de la calidad de vida en entornos urbanos.

Un hito reciente de la Maestría es la publicación del Tomo V de la colección "Conocimiento activo para construir ciudades más sostenibles", que reúne las tesis de los magísteres Andrea Karina Granja Carrera, Gabriel Tryfón y Juan Sebastián Pérez Gutiérrez. Sus investigaciones exploran propuestas prácticas para la planificación urbana sostenible, abarcando temas como gestión de recursos, diseño resiliente y políticas públicas innovadoras.

La MPyGIU refleja su compromiso con el desarrollo territorial responsable, buscando impactar positivamente en Argentina y la región. A través de la formación de especialistas y la generación de conocimiento aplicado, el programa se posiciona como un actor clave en la transformación hacia ciudades más inclusivas, eficientes y preparadas para los retos del siglo XXI.

Este texto actualiza el lenguaje, enfatiza la relevancia actual de la sostenibilidad urbana y destaca el rol multidisciplinario del programa, manteniendo la esencia informativa del original pero con un enfoque dinámico y orientado al impacto social.

Capacitando profesionales y promoviendo un desarrollo urbano sostenible para construir ciudades más sostenibles y resilientes.

