



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE ECONOMÍA**  
**MAESTRÍA EN ECONOMÍA CIRCULAR**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
Magister en Economía Circular**

***Implementación de un sistema de recarga de los acuíferos a través de  
las aguas residuales para el reúso en riego dentro del cantón Pedro  
Moncayo***

**Ing. Alvaro Xavier Muriel Sánchez MSc.**  
**alvaromuriels@gmail.com**

**Director: Dr. Pablo Ramiro Chafra Martínez**  
**pchafra328@puce.edu.ec**

**Quito, octubre de 2024**

# ÍNDICE

Introducción .....	2
Planteamiento del problema.....	2
Objetivos.....	4
Objetivo General .....	4
Objetivos Específicos.....	4
Metodología y datos.....	5
Marco referencial .....	5
Metodología.....	10
Estado del arte.....	11
<b>CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL RECURSO HÍDRICO DENTRO DEL CANTÓN PEDRO MONCAYO.....</b>	<b>13</b>
1.1    Análisis de involucrados.....	13
1.2    Diagnóstico del servicio de agua potable en el cantón.....	17
1.2.1    Información comercial.....	17
1.2.2    Infraestructura existente .....	19
1.2.3    Oferta de agua potable .....	20
1.2.4    Demanda de agua potable.....	22
1.2.5    Análisis oferta y demanda de agua potable .....	22
1.3    Diagnóstico del servicio de saneamiento en el cantón.....	23
1.3.1    Información comercial.....	23
1.3.2    Infraestructura existente .....	24
1.3.3    Aguas residuales producidas .....	25
1.4    Diagnóstico del riego en el cantón .....	26
1.4.1    Canal de riego Cayambe-Pedro Moncayo .....	26
1.4.2    Infraestructura existente del CRCP .....	28
1.4.3    Situación hídrica del riego.....	29
1.4.4    Situación actual del CRCP.....	30
<b>CAPÍTULO 2: PROPUESTA CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE RECARGA DE ACUÍFEROS PARA CUBRIR EL DÉFICIT DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN PEDRO MONCAYO .....</b>	<b>31</b>
2.1    Análisis de problemas.....	31
2.2    Análisis de objetivos .....	31
2.3    Análisis de alternativas .....	32
2.4    Matriz de Marco Lógico.....	33
2.5    Sistema de recarga de acuíferos .....	34
2.5.1    Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) .....	35
2.5.2    Sistema de recarga y bombeo de acuíferos de Mojanda .....	37
2.6    Presupuesto referencial .....	38
<b>CAPÍTULO 3: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>39</b>

3.1	Conclusiones .....	39
3.2	Recomendaciones .....	40
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Esquema Economía Circular.....	7
Ilustración 2.	Diagrama de mariposa de la economía circular .....	8
Ilustración 3.	Ciclo urbano del agua .....	9
Ilustración 4.	Ciclo del agua en la economía circular.....	10
Ilustración 5.	Mapa político cantón Pedro Moncayo .....	13
Ilustración 6.	Distribución de usuarios año 2023 .....	18
Ilustración 7.	Captación Chiriyacu, laguna Chica Mojanda.....	19
Ilustración 8.	Captación Chiriyacu, laguna Chica Mojanda.....	19
Ilustración 9.	Planta Central EMASA PM, a) Sistema de cloro gas, b) tanque de solución de cloro, c) Tanque de almacenamiento 650 m <sup>3</sup> .....	20
Ilustración 10.	Déficit anual del caudal de demanda .....	23
Ilustración 11.	Canal de riego Cayambe-Pedro Moncayo.....	26
Ilustración 12.	Esquema canal de riego Cayambe-Pedro Moncayo.....	27
Ilustración 13.	Mapa canal de riego Cayambe-Pedro Moncayo.....	28
Ilustración 14.	a) Laguna de regulación, b) Canal de riego, c) Laguna San Marcos, d) Presa Laguna Marcos	29
Ilustración 15.	Árbol de problemas del déficit de agua potable en el cantón Pedro Moncayo.....	31
Ilustración 16.	Árbol de objetivos para cubrir el déficit de agua potable en el cantón Pedro Moncayo.....	32
Ilustración 17.	Esquema Sistema de Recarga de Acuíferos .....	35
Ilustración 18.	Localización tentativa PTAR Pedro Moncayo.....	36
Ilustración 19.	Esquema PTAR .....	36
Ilustración 20.	Ubicación de los acuíferos en las lagunas de Mojanda .....	37
Ilustración 21.	Esquema recarga y extracción de acuíferos.....	38

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Actores involucrados en la gestión y abastecimiento de los recursos hídricos .....	14
Tabla 2.	Matriz de involucrados en la gestión y abastecimiento de los recursos hídricos.....	15
Tabla 3.	Categorías y subcategorías de servicio de agua potable .....	17
Tabla 4.	Cargo fijo de acuerdo a categorías de servicio .....	18
Tabla 5.	Cargo variable para categoría residencial .....	18
Tabla 6.	Cargo variable para categoría no residencial .....	18
Tabla 7.	Tanques de almacenamiento de AP.....	20
Tabla 8.	Cobertura de agua potable dentro del cantón Pedro Moncayo.....	21
Tabla 9.	Caudales entregados a los prestadores comunitarios .....	21
Tabla 10.	Volumen total facturado de agua potable según categorías .....	21
Tabla 11.	Proyección del caudal de demanda anual .....	22
Tabla 12.	Cargo variable para categoría residencial .....	23
Tabla 13.	Cargo variable para categoría no residencial .....	23
Tabla 14.	Infraestructura de saneamiento de la EMASA PM.....	24
Tabla 15.	Concesiones para el proyecto de riego Cayambe-Pedro Moncayo .....	29
Tabla 16.	MML para cubrir el déficit de agua potable en el cantón Pedro Moncayo .....	33
Tabla 17.	Presupuesto referencial PTAR .....	38
Tabla 18.	Presupuesto sistema de recarga de acuíferos.....	39

## **Resumen**

La gestión de los recursos hídricos a nivel mundial y en particular en el Ecuador, han representado conflictos debido a una inadecuada distribución del mismo. En el cantón Pedro Moncayo, el problema se agrava debido a las insuficientes fuentes de aprovechamiento lo que ha ocasionado racionamientos de agua dentro de la cabecera cantonal. El presente proyecto de titulación consiste en la propuesta de un sistema de recarga de acuíferos proveniente de las aguas residuales tratadas, para reuso en el riego y de esa manera liberar y aumentar ese porcentaje de caudal para reasignarlo al aprovechamiento humano. La propuesta se fundamentó en los conceptos de economía circular y economía circular del agua a través de un uso adicional del recurso hídrico dentro del ciclo urbano del agua. Para conseguir el propósito, es necesario la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales administrada por el Cantón Pedro Moncayo, y por otro lado, un sistema de recarga y bombeo del acuífero de Mojanda administrada por la Prefectura de Pichincha, que se viabilizará mediante un convenio entre las partes, para las posteriores gestiones de financiamiento. De esta manera, cumple con el criterio basado en el beneficio de triple impacto que promueve la economía circular, ya que al mediano y largo plazo se podrá suplir el déficit de agua potable, lo que aportará en la economía del cantón con el incentivo del sector comercial, productivo y turístico, y con ello, aprovechará del costo de oportunidad. En materia ambiental, evitará de la descarga de aguas contaminadas al río Pisque, principal cauce donde deposita Tabacundo. En cuanto al sistema de recarga de acuíferos, aportará a la preservación de las áreas y volúmenes de las lagunas de Mojanda. Finalmente, en el ámbito social, creará fuentes de trabajo temporales en las etapas de construcción de la infraestructura y plazas permanentes en las empresas que administrarán, operarán y mantendrán ambos sistemas.

**Palabras Clave:** Economía Circular, recursos hídricos, ciclo urbano del agua, acuífero, aguas residuales, PTAR.

# **Introducción**

## **Planteamiento del problema**

La escasez hídrica enfrenta un problema a escala mundial, que principalmente se debe a tres factores, el crecimiento demográfico, patrones de consumo y el desarrollo socioeconómico. La utilización del agua ha sufrido incrementos anuales del 1%, y se estima que esta tendencia continúe hasta 2050 (UNESCO, 2023). Por tal motivo, en todo asentamiento humano, el uso del agua como recurso vital para los seres vivos, requiere de una gestión eficiente desde el punto de vista de la producción y el consumo, con el objeto de satisfacer las necesidades básicas (FAO, 2023).

Según la Global Information System on Water and Agriculture (AQUASTAT, 2020), la precipitación anual a nivel mundial se estima en 110.000 km<sup>3</sup>, aproximadamente el 56% es evapotranspirada por los bosques y paisajes naturales, y un 5% por la agricultura. El 39% restante se convierte en escorrentía superficial y aguas subterráneas. Parte de esta agua se extrae para aprovechamientos humanos, distinguiendo tres tipos de captación de agua a nivel mundial, agrícola (riego, ganadería) con el 69%, municipal (doméstica) 12%, e industrial 19%. Únicamente el 3% del agua del planeta es dulce, de esta, el 95% representa aguas subterráneas, 3,5% a aguas superficiales y el 1,5% a la humedad retenida en el suelo. En resumen, de toda el agua dulce existente, tan solo un 0,36% tiene disponibilidad para el consumo (INAMHI, 2015).

En el caso de Ecuador, el consumo anual de agua, es aproximadamente 9.700 Hm<sup>3</sup>, donde el sector del riego hace uso del 82%, uso doméstico 12,5% y el sector industrial 5,5%. En cuanto al agua potable, el 84,2% de la población tiene acceso, mientras que, al saneamiento, el 65,8% de la población dispone de este servicio, y tan solo el 8% de las aguas residuales contemplan tratamiento previo a ser restituidas a los ríos u océanos (INEC, 2022).

En este contexto, nace la economía, como la ciencia social que estudia la administración de los recursos escasos entre vendedores y compradores bajo un modelo de producción y consumo. (Mankiw, 2012). En alternativa a los patrones de consumo de la economía tradicional nace la economía circular, que se define como un modelo económico que hace uso de la cantidad mínima de recursos naturales, incluida el agua y la energía, mediante la selección inteligente de los recursos, es decir, evitando el uso de recursos no renovables y explotación de materias primas, con el fin de mantener y recircular los productos en el sistema económico el mayor tiempo posible. A su vez, reducir los impactos ambientales permitiendo restituir el capital natural y fomentar su regeneración. Otro concepto más amplio de economía circular la define como un modelo que no solo atiende el cierre de ciclos, sino que enfatiza en la reducción de las dependencias, promueve la eficiencia, la restitución del capital natural y la minimización de los impactos ambientales a la sociedad (CONAMA, 2019).

Haciendo una relación entre la economía circular y el agua, se define al ciclo hidrológico del agua como un sistema circular natural donde el agua tiene un proceso de recirculación y depuración infinita; entre los parámetros más importantes destaca la precipitación, evapotranspiración, escorrentía, infiltración. De la misma manera, se define al ciclo urbano del agua como un modelo circular, donde interviene el ser humano y el proceso inicia en la captación de las aguas, seguido por tratamiento para potabilización, distribución, consumo, evacuación, tratamiento de las aguas residuales y finalmente la reincorporación a los cursos de agua. Este ciclo se puede extender a través de un proceso adicional de reutilización de las aguas residuales tratadas, destinado a aprovechamientos para riego, hidroelectricidad o consumo (Ciclos Bioquímicos, 2021). Ambos ciclos forman un modelo integral entre la naturaleza y el hombre, donde cada vez se integran más procesos hidrológicos y urbanos relacionados con el consumo del agua. En la misma línea, la interacción entre el agua y la energía, el agua desempeña un papel de consumidor y generador de energía, mediante la generación de hidroelectricidad, o productor de biogás como combustible a través de la digestión de los lodos provenientes

de los tratamientos residuales, de igual manera se proponen sistemas de turbinas en línea en cauces y océanos, instalación de paneles fotovoltaicos en embalses y reservorios, etc. (CONAMA, 2019).

Por otro lado, en Ecuador, el aprovechamiento de agua subterráneas con tecnologías vigentes, data desde la década de los 80, el Ex Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS) hizo perforaciones de 500 pozos con el fin de suministrar agua en diferentes poblaciones, el Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI) realizó investigaciones subterráneas para usos de riego en las cuencas del Guayas, Jubones, Cutuchi y Manabí (INAMHI, 2015).

En el caso del cantón Pedro Moncayo, enfrenta un déficit en el abastecimiento de agua potable, problema que se atribuye principalmente al caudal insuficiente ofertado por las fuentes hídricas, por tal motivo, es de interés de las autoridades y la población, la búsqueda de fuentes tradicionales o alternas que cubran la demanda del recurso para consumo humano. En cuanto, al costo de oportunidad de una población con un déficit en el servicio de agua potable incluye impactos en la salud, pérdida de productividad económica y el sector de turismo, todos estos beneficios se sacrifican debido a la falta de un acceso adecuado al agua potable. En este sentido, el presente proyecto propone la reutilización de las aguas residuales para el riego previo al tratamiento y recarga en un acuífero, y de esa manera liberar y aumentar ese porcentaje de caudal para reasignarlo al aprovechamiento humano.

El cantón pertenece a la Provincia de Pichincha, tiene de 40.483 habitantes, conformado por un 51% de mujeres y un 49% de hombres (INEC, 2022). Políticamente está conformado por cinco cantones: Tabacundo, Tupigachi, La Esperanza, Tocachi y Malchinguí. La población económicamente activa figura un 14,60%, con una concentración de empleo en la cabecera cantonal de Tabacundo con el 51,75%, con respecto a la población rural, Tupigachi es la parroquia con mayor porcentaje, 16,64%, seguido por Malchinguí con un 13,25%, La Esperanza con 12,10% y Toacachi con un 6,16% (GAD Municipal Pedro Moncayo, 2021).

El GAD Municipal Pedro Moncayo (2021), detalla los sectores económicos.

- Primario, definido por el sector agropecuario, incluido la silvicultura, caza y pesca; así como la explotación de minas y canteras.
- Secundario, definido por los servicios de construcción, manufactura y servicios básicos (electricidad, gas, climatización, agua potable, alcantarillado, gestión de desechos).
- Terciario, que consta del sector comercial al por mayor y menor, así como el transporte y almacenamiento.
- Sector no declarado.

Con respecto a los aprovechamientos hídricos para consumo, las cinco parroquias se abastecen de la vertiente de Chiriyacu, este es proporcionado a través de la empresa municipal de agua potable y saneamiento del cantón Pedro Moncayo (EMASA EP) que cuenta con un caudal de 80 l/s; adicionalmente existe prestadores del servicio comunitario que abastecen a ciertas comunidades rurales a través de fuentes y sistemas autónomos; sin embargo, no existe información exacta sobre los caudales de abastecimiento. Debido al limitante de las fuentes hídricas, la cabecera cantonal y algunas de las parroquias, cuenta con un problema de interrupción de servicio en la noche hasta la madrugada. Con respecto al saneamiento, los predios regularizados de las cinco parroquias cuentan con alcantarillado, sin embargo, los sistemas para el tratamiento de las aguas residuales no cuentan con una planta de tratamiento, únicamente estructuras menores como tanques sépticos, digestores, filtros anaerobios, filtros biológicos, tanques Imhoof, lagunas de oxidación, etc. (GAD Municipal Pedro Moncayo, 2021).

Por otro lado, al no contar con el servicio de agua potable las 24 horas, provoca enfermedades bacterianas y virulentas a la población. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2023), afirma que el agua contaminada y el sistema sanitario imperfecto están directamente relacionados con la transmisión de enfermedades graves como el cólera, diarreas, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis. El tema se agudiza especialmente en establecimientos de salud, lugar donde pacientes y profesionales enfrentan mayores riesgos de infecciones y enfermedades, a nivel mundial el 15% de los pacientes contraen infecciones durante la hospitalización, cifra que es aún más alta en países en vías de desarrollo.

Según la OMS (2023), la gestión inapropiada de aguas de consumo doméstico, industrial y agrícola resulta en la contaminación peligrosa del agua que consumen millones de personas, la presencia de productos químicos naturales como arsénico y fluoruro en aguas subterráneas también puede afectar la salud. Adicionalmente, el agua para consumo humano puede contener productos químicos como plomo en cantidades altas debido a la lixiviación de componentes relacionados con el suministro de agua. Por otro lado, la diarrea causa la muerte de aproximadamente 829.000 personas cada año debido a la falta de agua potable, saneamiento deficiente y mala higiene personal; abordar estos factores de riesgo podría prevenir la muerte de alrededor de 297.000 niños menores de cinco años anualmente. En 2017, alrededor de 220.000 de personas demandaron tratamiento preventivo para la esquistosomiasis, una enfermedad crónica grave causada por parásitos transmitidos por el agua contaminada. Los insectos que viven o se reproducen en el agua, como los vectores del dengue, son portadores y transmisores de enfermedades en varias partes del mundo.

En el caso del riego, que representa el mayor consumo del recurso debido a que atiende al sector económico más importante del cantón que es el florícola. Este posee 11 sistemas de riego, siendo el “Sistema de Riego Cayambe-Pedro Moncayo” el más importante, mismos que cubre 5.062 Ha lo que representa el 22,52% de tierra que cuenta con el recurso. El 52% del área se riega a través del canal y ríos, 25% a través de quebradas o esteros, 8% fuentes subterráneas a través de la explotación de pozos, y el 7% por la construcción de reservorios que captan el agua de la lluvia. El caudal entre todos los sistemas supera el 1 m<sup>3</sup>/s (GAD Municipal Pedro Moncayo, 2021).

Con respecto al sector productivo, el INEC (2010) y el Ministerio de Turismo (2023), destacan siete sectores que operan en horarios nocturnos, hostelería, restauración, entretenimiento y ocio, transporte y logística, salud, seguridad y servicios de emergencia. La falta de servicio continuo de agua potable perjudica en el caso del servicio o de la operación, si bien este tipo de infraestructuras podrían contar con cisternas de almacenamiento, en escenarios emergentes se ven afectados igualmente.

Finalmente, las insuficientes fuentes hídricas, el desbalance de asignación de caudales para consumo y riego, la inexistencia de sistemas de tratamiento de las aguas residuales, confluyen en problemas de carácter sanitarios, comerciales y productivos para el cantón Pedro Moncayo, por tal motivo es de suma importancia la propuesta de soluciones para cubrir el déficit de demanda de agua potable en el cantón.

En este sentido, se propone como alternativa, a la economía circular aplicada a los recursos hídricos, con el objeto de extender un bucle adicional al ciclo urbano del agua, a través del aprovechamiento de las aguas residuales tratadas y recarga en un acuífero, de tal manera que permita liberar ese porcentaje de caudal para reasignarlo al consumo humano.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Proponer un sistema de recarga de acuíferos proveniente de las aguas residuales tratadas, para su reuso en el riego y de esa manera cubrir el déficit de agua potable en el cantón Pedro Moncayo.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar el análisis de la situación actual de los servicios de agua potable, saneamiento y riego dentro Cantón Pedro Moncayo.
- Realizar la propuesta conceptual del sistema de recarga de acuíferos mediante las aguas residuales tratadas haciendo uso de los conceptos de economía circular.

# **Metodología y datos**

## **Marco referencial**

El marco referencial es una sección que recopila los antecedentes, teorías, regulaciones y lineamientos de un proyecto de investigación. Su función principal es reunir los proyectos relevantes del tema de estudio a través de la revisión de la literatura, lo que permite al investigador identificar vacíos y preguntas por explorar que justifican el proyecto. También proporciona una estructura conceptual y teórica sólida que ayuda a fundamentar y contextualizar el proyecto, sirve como punto de partida para el desarrollo del diseño metodológico, marco teórico y la interpretación de los resultados obtenidos. Existen dos metodologías para desarrollar el marco referencial, la tradicional, predictiva o de cascada; y la ágil (Chen, 2020).

Bajo esta premisa, el presente proyecto de titulación se hará uso de un marco referencial tradicional, y el fundamento, se basa en la aplicación de la economía circular del agua como una posible alternativa para el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas, es decir, extender el ciclo urbano del agua a través de la incorporación de un nuevo proceso.

En Ecuador, la cartera de estado que se encarga de la política ambiental y por ende, abarca la gestión de los recursos hídricos, es el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. El Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador fue establecido mediante decreto ejecutivo por el presidente Abdalá Bucaram el 4 de octubre de 1996. El 28 de enero de 1999, se fusionaron el Ministerio de Medio Ambiente y el Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Naturales y Vida Silvestre (INEFAN) en una sola entidad, resultando en el Ministerio de Medio Ambiente, posteriormente conocido como el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). Durante la presidencia de Rafael Correa, el 15 de mayo de 2008, se emitió el Decreto Ejecutivo Nro. 1088, reorganizando el Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) para crear la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), la cual se convirtió en la Autoridad Única del Agua del Ecuador. La SENAGUA absorbió varias instituciones de desarrollo local en recursos hídricos, como la Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Río Guayas (CEDEGE), la Corporación Reguladora del Manejo Hídrico de Manabí (CRM), el Centro de Desarrollo del Norte de Manabí (CEDEM) y el Consejo de Gestión de Aguas de la Cuenca del Paute (CG-PAUTE). El 3 de octubre de 2018, el presidente Lenín Moreno emitió el Decreto Ejecutivo 533 para fusionar el Ministerio del Ambiente y la Secretaría del Agua, pero la fusión no se concretó en el plazo de 90 días establecido. Aproximadamente un año y medio después, el 4 de marzo de 2020, Moreno volvió a ordenar la fusión mediante el Decreto Ejecutivo 1007, creando el Ministerio de Ambiente y Agua (MAAE), con la intención de que una sola institución pública se encargara de la política ambiental en Ecuador. Finalmente, como parte de la estrategia gubernamental para impulsar la Transición Ecológica en Ecuador, el 5 de junio de 2021, desde Bucay, el presidente Guillermo Lasso emitió el Decreto Ejecutivo n. 59, renombrando esta cartera de Estado como Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), que en los artículos 3 y 5 decreta lo siguiente:

*“Artículo 3.- Declarase de prioridad nacional el desarrollo sostenible en el Ecuador, entendido como la mejora de la calidad de vida humana sin rebasar la capacidad de carga de los ecosistemas que la sustentan, con solidaridad y equidad hacia las actuales y futuras generaciones, garantizando el equilibrio entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social.”*

*“Artículo 5.- Declárese como prioridad garantizar el derecho al acceso al agua a las presentes y futuras generaciones, así como la gestión para la conservación y restauración de los recursos hídricos.”* (MAATE, 2024).

En base a este antecedente, es preciso recapitular de manera breve el marco legal sobre el cual se sustenta la administración y gestión de los recursos hídricos en Ecuador. La cronología a ser desarrollada en el presente acápite comprende desde la Ley de Condominio de Aguas, del año 1960, hasta la Ley Orgánica de Recursos

Hídricos, Usos y Aprovechamiento Del Agua, que permanece vigente desde 2014, aun cuando fue declarada inconstitucional en el año 2022 (Arias Ortega, 2024).

- La Ley de Condominio de Aguas de 1960

La baja gestión en el cuidado de los recursos hídricos en Ecuador se ha agravado desde el siglo XIX, aumentándose en el siglo XX debido al uso exhaustivo en la agricultura y ganadería de haciendas y su falta de regulación.

La Ley de Condominio de Aguas de 1960 creó un punto inicial a esta regulación, esta ley se basó en condueños que administran el recurso hídrico, ejerciéndoles deberes y derechos, si su número superaba el de ocho, se creaba un Directorio de Aguas, en el cual los condueños nombraban los directores y eran los responsables de aprobar el presupuesto, de esta manera se tenía una privatización del agua, con un rango comunitario.

- Ley de Aguas de 1972

En 1972 varios recursos naturales, como el hídrico, se cambiaron a ser manejados por el Estado, quitando su privatización a un bien de uso público. De esta manera se le otorgó una base jurídica a la nacionalización a todo tipo de aguas. Aquí también se empezó a crear las concesiones del agua hacia las comunidades.

Entre la Ley de 1960 y la de 1972 existió un punto medio donde se creó el “Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos” (INERHI), reemplazando a la “Caja de Riego”, siendo así la encargada de aprovechar y proteger a los recursos hídricos, como también a la construcción de infraestructura para la utilización del agua. También debían incentivar la creación de la empresa privada para las obras de riego.

En la práctica en este período se encontraron con problemas como la distribución no equitativa del agua, y la baja participación de las comunidades en las decisiones, dándoles mayor poder legal a los grandes terratenientes, debido a la imposición de modelos económicos neoliberales impulsados por el Banco Mundial. Se modificó en el 2004 sin generar gran cambio en el uso y posesión del agua.

- La Constitución de Montecristi y la nueva visión sobre la administración de recursos hídricos en Ecuador

Se basó en la “Constitución del 2008” en la cual se reafirmó que el Estado manejaba el uso total sobre todo tipo de recursos, como lo estipula el artículo 261, y como en el artículo 318 que detalla que el agua es un patrimonio nacional, prohibiendo la privatización del agua.

A pesar que la mayoría de artículos en la Constitución dan al Estado la dirección total de la gestión del agua, también menciona una gestión compartida con las Juntas de Riego a nivel cantonal de manera jurídica. De esta forma se les generó participación jurídica a las comunidades de montubios e indígenas. De esta manera, sectorizó los problemas y generó un mayor contacto con la realidad, permitiendo disminuir considerablemente la privatización del uso del agua.

Se emitió una disposición transitoria con cumplimiento de 360 días para la creación de una ley capaz de regular el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos incluyendo los permisos actuales y futuros, como sus planos, revisión y auditoría, la cual se venció sin ninguna ley. Igualmente, a pesar de la existencia de la Constitución los sectores indígenas no recibieron beneficios sobre la gestión del agua, lo cual desencadenó varias protestas y confrontaciones entre las comunidades y el Estado. Con esta presión se estableció la ley del 2014.

- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (LORHUAA) 2014

Se evidenciaban a lo largo de las normativas grandes problemas de inequidad al acceso del agua. Este fue el hito principal para la difusión de la LORHUAA. Esta ley realizó grandes modificaciones, por ejemplo, se otorga la potestad de la toma de decisiones a las comunidades en beneficio de la administración del agua, también detalla que todo usuario del agua es corresponsable de su protección, recuperación y conservación, la gestión hídrica es pública o comunitaria, y que todos los actores deben velar por su administración, operación y mantenimiento de la infraestructura de las fuentes de agua. De esta manera, generó una participación comunitaria de todos los usuarios para la toma de decisiones. La ley y su reglamento del año 2015, fueron

declaradas inconstitucionales de acuerdo con la decisión de la Corte Constitucional en enero de 2022, sin embargo, al no expedirse una ley que reemplace dicha ley, esta se mantiene vigente.

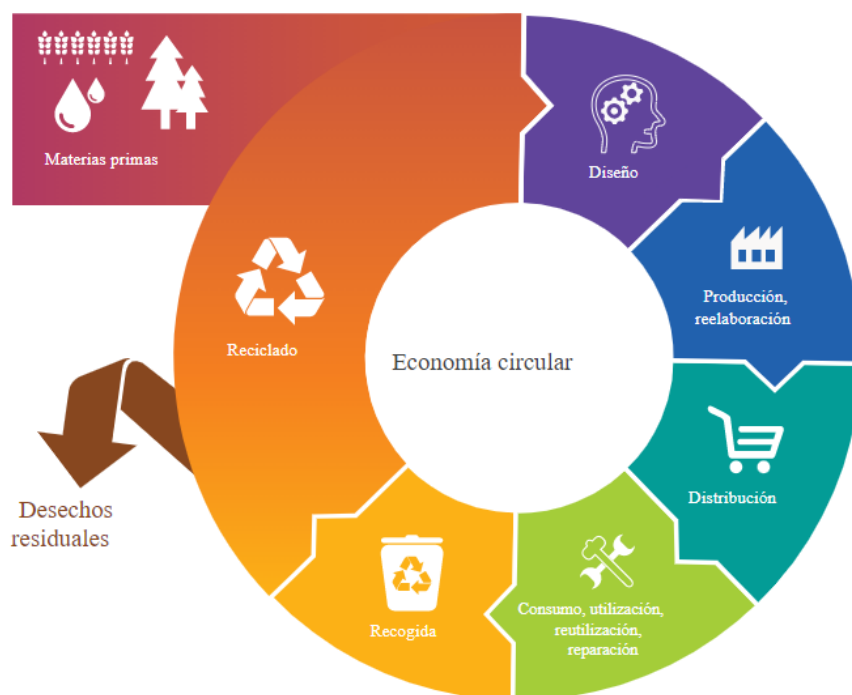
- Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva

Suscrita con fecha 1 de julio de 2021 por la Asamblea Nacional, se aprobó el Proyecto de Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva presentada por el expresidente Guillermo Lasso. La ley tiene como objetivo definir las atribuciones y responsabilidades de las entidades del sector público en la economía circular; establecer criterios y mecanismos para implementar ecodiseño, producción y consumo sostenibles; reducir la generación de residuos; fomentar la gestión integral e inclusiva de residuos y la política pública y financiamiento de la economía circular inclusiva, promoviendo el bienestar económico, la creación de empleo, el desarrollo sostenible y la disminución del consumo de recursos no renovables.

- Reglamento General a la Ley orgánica de economía circular inclusiva

Registrado con fecha 22 de agosto de 2023 por expresidente Guillermo Lasso, tiene como objeto desarrollar y estructurar la normativa que permita que se aplique la Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva, haciéndola de estricto cumplimiento aparte del sector público, a los GADs, comunidades, colectivos y toda persona natural y jurídica que se encuentre en territorio ecuatoriano.

Entrenado en materia teórica, la economía circular (Ilustración 1) se define como la confluencia entre aspectos económicos y ambientales dentro de los procesos productivos. Nace como un nuevo modelo de sociedad que haga uso óptimo de los recursos, materiales, energía, agua y residuos para conseguir la eficiencia. En medio de la escasez y variabilidad en los costos de las materias primas, la economía circular surge como una solución clave para asegurar el suministro y promover la reindustrialización a nivel nacional, este enfoque transforma los residuos en recursos, abogando por el diseño de productos desmontables al final de su primera vida útil. La economía circular no solo convierte los desechos en materias primas, sino que también destaca como un generador de empleo, especialmente en el sector de gestión de residuos. Su implementación efectiva se basa en la proximidad al punto de consumo, consolidando su papel como un impulsor local e intransferible de desarrollo económico (Simon, 2018).

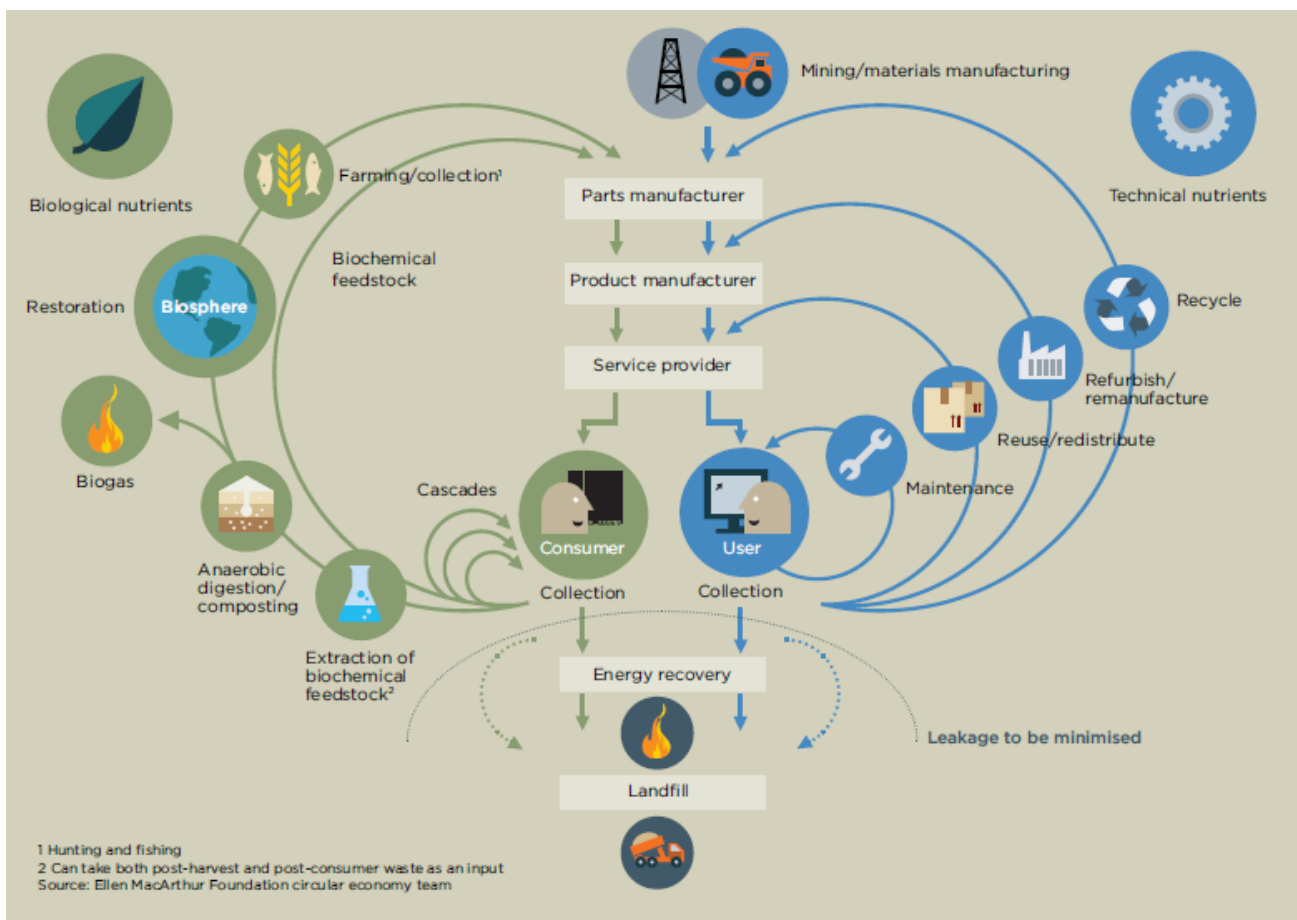


**Ilustración 1.** Esquema Economía Circular  
Fuente: (Parlamento Europeo, 2015)

Por otro lado, Ellen MacArthur Foundation (2015), explora el concepto de economía circular a través de un marco para rediseñar los sistemas económicos con el fin de ser más sostenibles, el cual resume en los siguientes puntos clave:

- **Modelo lineal vs. circular:** El actual modelo económico predominante, el "tomar-fabricar-desechar", genera desperdicio y sobreexplotación de recursos. Este enfoque está agotando los recursos naturales y creando problemas de volatilidad y escasez.
- **Economía circular:** La economía circular se basa en reutilizar, reciclar y regenerar productos y materiales, en lugar de desecharlos. Esto incluye diseñar productos para facilitar su desensamblaje, reparación y reutilización, también se promueve el uso de energías renovables.
- **Beneficios económicos:** Los modelos circulares podrían generar ahorros significativos en costos de materiales, especialmente en sectores intensivos en recursos como la manufactura. Los ahorros netos anuales podrían ser de hasta 630 mil millones de dólares en la Unión Europea para 2025.
- **Oportunidades empresariales:** La transición a la economía circular no solo es buena para el medio ambiente, sino que ofrece oportunidades para la innovación empresarial y nuevos modelos de negocio, como el arrendamiento de productos en lugar de la venta.
- **Implementación práctica:** Destaca casos de estudio de empresas que ya están implementando principios de economía circular, mostrando cómo el rediseño de productos y cadenas de valor puede reducir costos y mejorar la competitividad.

La fundación Ellen Maarthur desarrolló el diagrama de la economía circular, llamado diagrama de mariposa (Ilustración 2), que representa el movimiento continuo de materiales dentro de este tipo de economía. Se distinguen dos ciclos fundamentales: el técnico y el biológico. En el ciclo técnico, los productos y materiales se conservan en uso mediante actividades como la reutilización, reparación, remanufactura y reciclaje. En el ciclo biológico, los nutrientes de los materiales biodegradables se reintegran al medio ambiente para apoyar la regeneración natural.



**Ilustración 2.** Diagrama de mariposa de la economía circular  
 Fuente: (Ellen Macarthur Foundation, 2015)

La vinculación entre la economía circular y el agua se halla en el ciclo hidrológico del agua, que se describe como un sistema circular natural en el que el agua sigue un proceso continuo de recirculación y purificación, con parámetros como la precipitación, la evapotranspiración, la escorrentía y la infiltración. Por su parte, el ciclo urbano del agua (Ilustración 3) también sigue un modelo circular, pero con intervención humana. Comienza con la captación del agua, seguida por su tratamiento para potabilización, distribución, consumo, evacuación y tratamiento de aguas residuales, que luego se reintegran a los cuerpos de agua. Este ciclo puede ampliarse con la reutilización de aguas residuales tratadas, usadas para riego, generación hidroeléctrica o consumo. Ambos ciclos crean un sistema integral entre la naturaleza y la actividad humana, incorporando cada vez más procesos hidrológicos y urbanos relacionados con el uso del agua (Ciclos Bioquímicos, 2021).

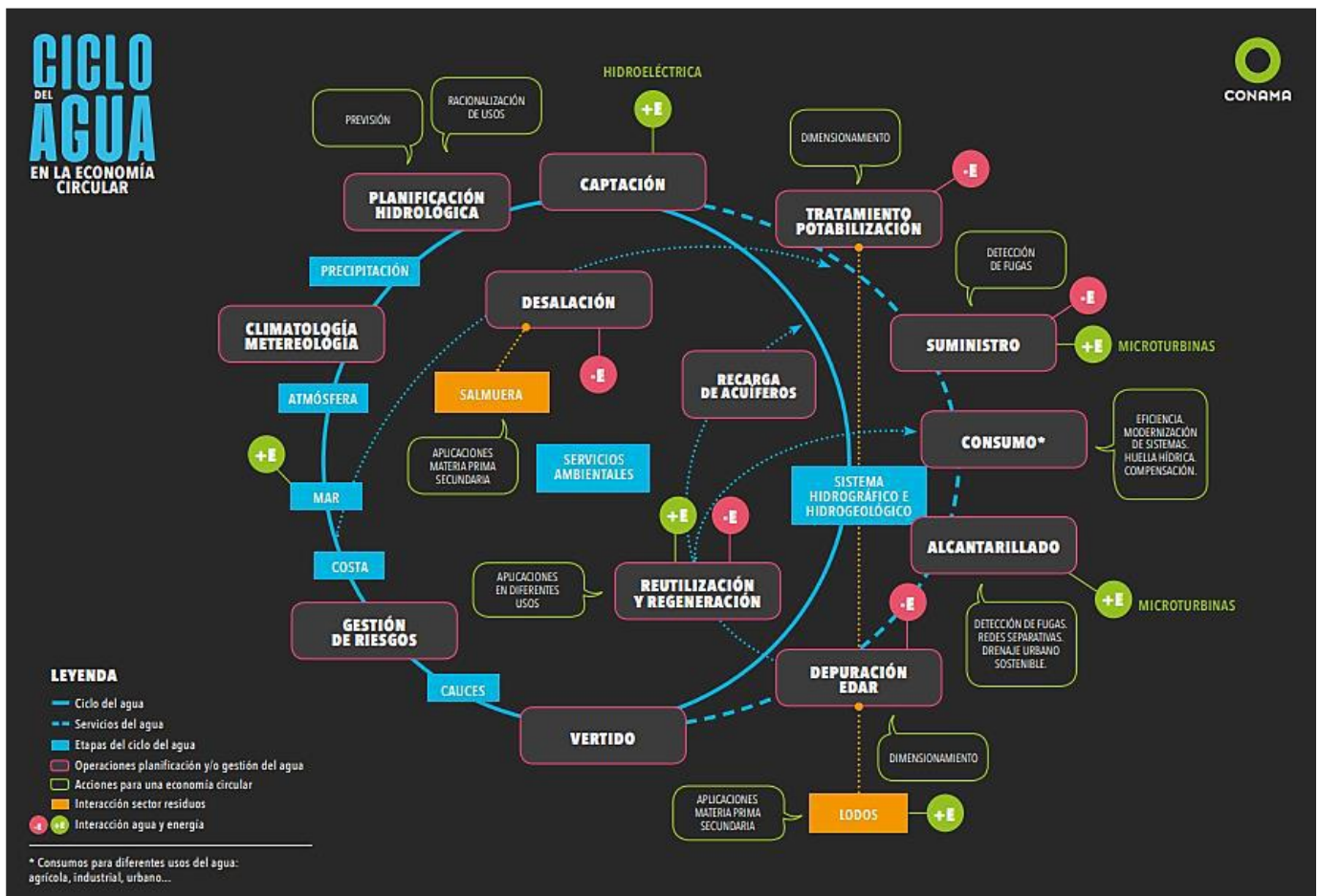


**Ilustración 3.** Ciclo urbano del agua

Fuente: (Ciclos Bioquímicos, 2021)

Brears (2020), expone como la economía circular del agua tiene un enfoque de minimizar la extracción de agua de fuentes naturales a través de la reducción, reutilización y reciclaje del agua. Este enfoque mejora la resiliencia frente al cambio climático y reduce la degradación ambiental, comparado con el modelo lineal tradicional que se basa en extraer, usar y desechar recursos. La reducción del consumo de agua en sectores urbanos, industriales y agrícolas disminuye tanto los costos operativos como las emisiones de carbono. Iniciativas como los medidores de agua y dispositivos de ahorro son ejemplos clave para promover un uso eficiente del agua. La reutilización y reciclaje del agua, destacando su importancia en la industria, agricultura y áreas urbanas. Reutilizar el agua reduce la demanda de fuentes naturales y el reciclaje, con tratamiento adecuado, permite aprovechar aguas residuales para nuevos usos, beneficiando tanto al medio ambiente como a la economía.

Fundación CONAMA (2019), aborda cómo el sector del agua puede integrarse en la economía circular (Ilustración 4) para enfrentar retos ambientales, a través de la economía circular que incluye prácticas como la reutilización, la mejora en la eficiencia de los sistemas de riego y el aprovechamiento de subproductos como los lodos. Propone diversos indicadores para medir la circularidad del agua, desde el uso de energía hasta la cantidad de agua reutilizada. También presenta innovaciones tecnológicas y proyectos clave en torno a la reutilización de aguas residuales, la generación de energía a partir de biogás, y la desalación, destacando ejemplos como las "biofactorías". Finalmente, identifica barreras para la implementación de la economía circular en el agua, incluyendo obstáculos tecnológicos y la necesidad de aceptación social, y subraya la importancia de la colaboración entre actores públicos y privados para el éxito de los proyectos.



**Ilustración 4.** Ciclo del agua en la economía circular  
Fuente: (Fundación CONAMA, 2019)

## Metodología

Dentro del marco referencial tradicional, destaca la metodología del Project Management Institute (PMI), marco lógico, etc. En cuanto a marco referencial ágil, existen metodología como SCRUM, Kanban, Extreme programming (XP), etc. El presente estudio, acoge la metodología tradicional basada en un proceso de diseño secuencial, es decir que las tareas establecidas deben ir completándose una a la vez para continuar a la siguiente. Las ventajas que proporciona esta metodología, es la facilidad de comprensión y administración, existe menos problemas de producción y una mejor gestión del presupuesto (Lucid Content Team, 2021).

Las características que describen a la metodología de cascada son las siguiente (Blog Lucidchart, 2023):

- Fases secuenciales: Como se mencionó previamente, el marco referencial tradicional divide el proyecto en fases secuenciales y lineales, donde cada fase debe completarse antes de pasar a la siguiente.
- Estructura rígida: El enfoque es rígido y predefinido, es decir que los cambios y ajustes que se den a lo largo de la ejecución pueden resultar complejos de implementar una vez que la fase fue completada, los cambios o modificaciones requieren retroceder a etapas previas con sus respectivos ajustes.
- Énfasis en la documentación: Esta metodología se basa en el énfasis en que la documentación sea detallada y formal, como el plan de proyecto, cronograma, reportes de avance, etc. Estos sirven como base para la toma de decisiones y comunicación con los involucrados.
- Enfoque en el alcance y la planificación inicial: Se requiere un alcance completo del proyecto y el desarrollo detallado de la planificación, las tareas o hitos se definen de manera exhaustiva en etapas iniciales sin cambios significativos durante la vida útil del proyecto.

- Control estricto: Se basa en un control minucioso de las actividades y entregables del proyecto, se hace uso de un control de cambios formal para evaluar y aprobar cualquier solicitud de modificación, esto significa extensión de los plazos y subsecuente modificación del cronograma.

La metodología a utilizar, es la del Marco Lógico, que se enfoca en la resolución de problemas específicos a través de tres fases principales. En la primera, se identifica el problema mediante un diagnóstico sistémico amplio, analizando las causas y las razones por las cuales no se ha resuelto. En la segunda fase, se construye un modelo sistémico que representa las condiciones lógicas necesarias para resolver el problema. La tercera fase se centra en desarrollar un instrumento gerencial, que toma la forma de una matriz de objetivos secuenciales, para registrar la estrategia de solución. En este último paso, se incorporan indicadores para facilitar el seguimiento y control de la gestión de la solución a lo largo del tiempo. Finalmente, se construye la Matriz de Marco Lógico (MML) que está compuesta por cuatro niveles de objetivos y cuatro ámbitos de gestión, que de manera sintetizada presenta el proceso para lograr el objetivo del proyecto (Aldunate & Córdoba, 2011a).

Las fases del método se detallan en diez pasos secuenciales:

- Realizar el análisis del problema.
- Construcción de un modelo de las relaciones causa/efecto que determinan el problema (Árbol del Problemas)
- Construcción del modelo de solución (Árbol de Objetivos)
- Asignar responsabilidades institucionales para resolver el problema.
- Transferir la información del árbol de objetivos al formato de Matriz de Marco Lógico, haciendo del número de matrices necesarias.
- Identificar riesgos del proyecto mediante el cual se busca resolver el problema y establecer los supuestos bajo los cuales puede dar resultados al proyecto.
- Validar la lógica vertical de cada matriz.
- Definir indicadores para dar seguimiento a cada una de las hipótesis del modelo de solución.
- Establecer los medios para verificar la confiabilidad de los indicadores.
- Revisar la lógica horizontal de la matriz.

## ***Estado del arte***

A continuación, se presentan estudios que contemplan la recarga de acuíferos con aguas residuales tratadas para nuevos aprovechamientos:

- Vélez y Vásquez (2004), detallan metodologías para determinar la recarga de acuíferos, entre las más importantes, de manera natural a través de la precipitación, por otro lado, a través de ríos o lagos, por irrigación, y finalmente, pérdidas en conducciones, alcantarillados o infiltraciones de embalses. De esta manera, concluye con la existencia de diversas técnicas para estimar la tasa de recarga de acuíferos, mediante trabajos en campo y métodos empíricos.
- Parodi (2016), realizó un estudio sobre la recarga del acuífero situado en Lima mediante el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas, se basa en la viabilidad técnica y sostenibilidad de dicho acuífero para uso potable y ampliar las fuentes de agua dulce. Los resultados arrojaron que la recarga del acuífero a través de procesos de infiltración por gravedad mediante piscinas artificiales, podría brindar 22 años más de abastecimiento hídrico.
- Opolenko (2021), analizó la potencialidad de la recarga de acuíferos y uso aguas servidas para riego, en la cuenca del río “La Villa”, en Panamá. Los resultados establecieron un nivel de remoción en los humedales de contaminantes de aguas estancadas con ayuda de vegetación idónea y sustrato,

adicionalmente mediante estudios geológicos e hidrogeológicos realizados en la investigación, se generó un modelo de disposición espacial de las capas litológicas para la estimación de sus volúmenes, y de esta manera definir si la región acuífera es capaz de recibir a través de infiltración el agua de recarga, para su posterior almacenamiento y finalmente reintegrarla.

De los estudios evidenciados se fundamenta la aplicabilidad del presente proyecto, ya que las aguas provenientes de un tratamiento sanitario, más la depuración y dilución en acuíferos presentan propiedades físicas, químicas y biológicas adecuadas para el riego. De esta manera el cantón de Pedro Moncayo, podría reducir el déficit de agua para consumo humano, a través de un intercambio de los caudales concesionados para el riego por el volumen de agua tratada proveniente de los acuíferos en las zonas aledañas a las lagunas de Mojanda.

# CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL RECURSO HÍDRICO DENTRO DEL CANTÓN PEDRO MONCAYO

## 1.1 Análisis de involucrados

El presente proyecto de titulación contempla la metodología del Marco Lógico, en ese sentido, el primer factor implica la participación activa de los principales involucrados desde el comienzo del proceso. Por ello, es crucial identificar a los grupos y organizaciones que puedan estar directa o indirectamente relacionados con el problema, y analizar sus dinámicas y reacciones a medida que el proyecto avanza. Este enfoque permite una mayor objetividad en la planificación y facilita la obtención de acuerdos entre los participantes, al tener en cuenta diversos puntos de vista y fomentar un sentido de pertenencia entre los beneficiarios (Aldunate & Córdoba, 2011b; Ortegón et al., 2005). A continuación, se describe los involucrados del caso.

El Cantón Pedro Moncayo, uno de los ocho cantones de la Provincia de Pichincha, está ubicado a 50 km al noreste de Quito y es atravesado por la carretera Panamericana Norte. Con una superficie de 339,10 km<sup>2</sup>, representa el 2,04% de la provincia. Situado en la hoya de Guayllabamba, en la vertiente sur del nudo de Mojanda, forma parte de la cuenca hidrográfica del río Esmeraldas. Su altitud varía desde 1.730 msnm hasta los 2.952 msnm en los centros poblados, con una diversidad de climas asociados a diferentes pisos ecológicos, con temperaturas que oscilan entre 3°C en las cumbres del Fuya-Fuya y 18°C en Jerusalén y Tanda.

Desde la década de los 80, la producción agropecuaria en la región experimentó un notable aumento gracias a la expansión de las plantaciones de flores y los invernaderos, ocupando alrededor de 434 hectáreas para cultivos florícolas, principalmente de rosas, que representan el 90% de la producción. Estas plantaciones contribuyen significativamente al panorama nacional, aportando un 25% de la producción total, con la mayoría de los productos exportados a Estados Unidos, Rusia y Europa. Los asentamientos humanos se dispersan de manera heterogénea en las laderas intermedias del volcán Mojanda, con vestigios prehispánicos que sugieren la importancia estratégica de la ubicación en las rutas comerciales entre los pueblos del norte y Quito, además de ser un punto de referencia ceremonial en Cochasquí (GAD Municipal del Cantón Pedro Moncayo, n.d.).

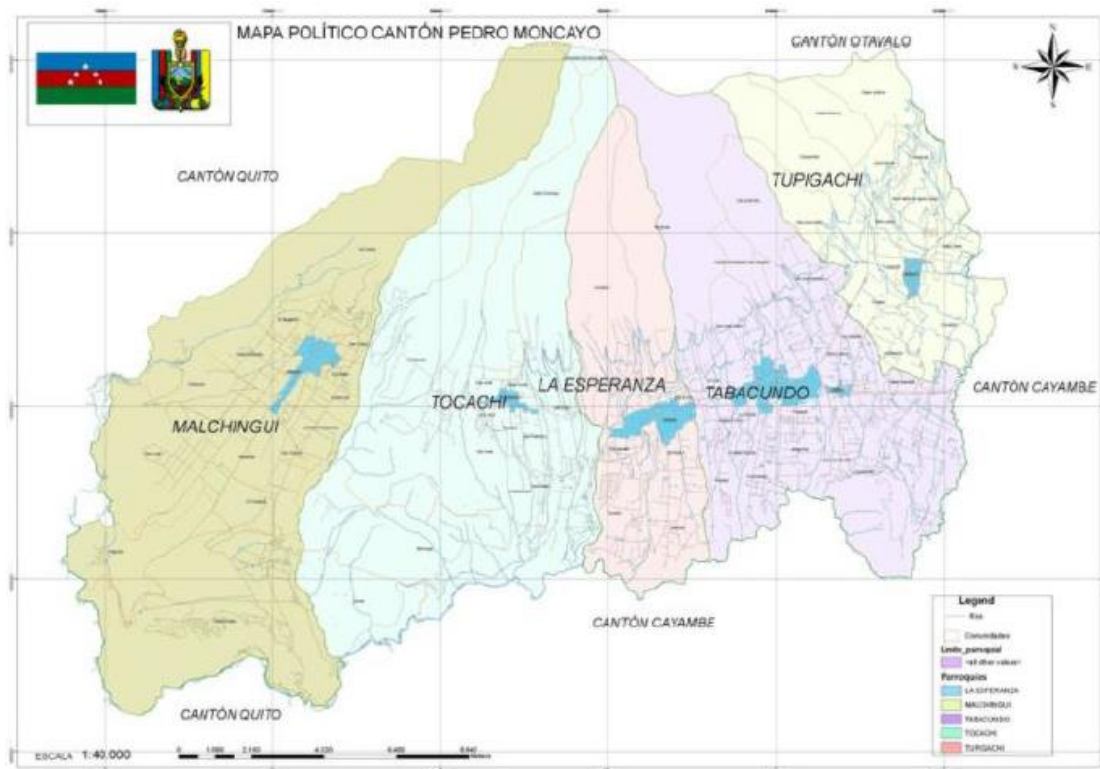


Ilustración 5. Mapa político cantón Pedro Moncayo

Fuente: (GAD Municipal Pedro Moncayo, 2021)

En lo concerniente a la administración del suministro de agua potable y el sistema de saneamiento en el cantón Pedro Moncayo, el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Pedro Moncayo emitió la ordenanza el 3 de mayo de 2010, y publicada en el registro oficial N°260 del 19 de agosto de 2010, para la creación de la EP EMASA PM como una entidad legal autónoma, con su propio patrimonio, y con autonomía en términos presupuestarios, financieros, económicos, administrativos y de gestión. Esta entidad opera bajo principios comerciales y tiene como objetivo principal proporcionar servicios públicos de agua potable, alcantarillado, saneamiento ambiental, así como otros servicios que el directorio considere de interés común. La empresa está a cargo de la gestión integral, planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas para la producción, distribución y comercialización de agua potable, así como del manejo y disposición de aguas residuales tanto en la ciudad de Tabacundo como en las parroquias rurales del cantón.

A continuación, en la Tabla 1, se presenta los actores involucrados en la gestión y abastecimiento de los recursos hídricos:

**Tabla 1. Actores involucrados en la gestión y abastecimiento de los recursos hídricos**

GAD Provincial de Pichincha	Planificar, construir, operar y mantener sistemas de riego de acuerdo con la Constitución y la ley (Artículo 42 del COOTAD), (Gobierno Nacional de la República del Ecuador, 2010)).
GAD Municipal del Cantón Pedro Moncayo Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Básico del Cantón Pedro Moncayo	Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley (Artículo 55 del COOTAD), (Gobierno Nacional de la República del Ecuador, 2010).
GADs parroquiales rurales del Cantón Pedro Moncayo	Vigilar la ejecución de obras y las calidad de los servicios públicos (Artículo 64 del COOTAD), (Gobierno Nacional de la República del Ecuador, 2010) .
Juntas Administradoras de Agua Potable	Establecer, recaudar y administrar las tarifas por la prestación de los servicios, dentro de los criterios generales regulados en la ley y reglamento de la LORHUAA. Rehabilitar, operar y mantener la infraestructura para la prestación de los servicios de agua potable (Artículo 44 de la LORHUAA), (Gobierno Nacional de la República del Ecuador, 2014).
Juntas de riego	Gestionar la infraestructura del sistema, sea propia de la junta o cedida en uso a ella por el Estado, a través de los diferentes niveles de gobierno. Realizar el reparto equitativo del agua que le sea autorizada entre los miembros del sistema siguiendo las regulaciones que emita la Autoridad Única del Agua. Establecer, recaudar y administrar las tarifas por la prestación del servicio a partir de los criterios técnicos regulados por la Autoridad Única del Agua (Artículo 47 de la LORHUAA) (Gobierno Nacional de la República del Ecuador, 2014).
Organizaciones no gubernamentales, organismos internacionales y agencias de desarrollo	Financiamiento con fondos reembolsables y no reembolsables. Generadores de investigación. Generadores de información técnica sobre fuentes y aprovechamientos hídricos.
Instituciones educativas y de investigación	Generadores de investigación. Forman profesionales en ámbitos relacionados con los recursos hídricos
Sectores productivos: Sector florícola Sector agrícola	Aprovechamiento del recurso hídrico para su producción, de acuerdo a lo establecido en la ley vigente.
Población local	Aprovechamiento del recurso hídrico para consumo, confiando en la calidad que presta el servicio. Contribuyentes tributarios para los gobiernos autónomos descentralizados y el gobierno.

Del análisis de los actores involucrados, se identificaron nueve, que son los que interactúan desde el marco legal, prestadores de servicio, la academia, hasta los consumidores finales.

Las funciones y competencias exclusivas de los servicios de abastecimiento de agua potable, saneamiento y de riego; se establecen en el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD), que se expidió como Ley de la República el 19 de octubre de 2010 y publicado en el Registro Oficial No. 303. El 21 de enero de 2014 se expidió la Ley Reformatoria al COOTAD, publicada en el Registro Oficial No. 166. Su objetivo principal fue consolidar las normas que regulan la administración de los gobiernos autónomos descentralizados, simplificando y unificando la legislación previa. Uno de sus logros destacados es la asignación de presupuesto para estos gobiernos, con el 21% de los recursos permanentes y el 10% de los no permanentes. Además, el COOTAD establece las competencias de los distintos niveles de gobierno, desde el central, regional, provincial, cantonal y parroquial.

Las competencias exclusivas del riego, que constan de la planificación, construcción, operación y mantenimiento sistemas de riego de acuerdo con la Constitución y la ley, las asigna a los gobiernos autónomos descentralizados provinciales. Mientras que las competencias para la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y depuración de las aguas residuales, están asignados a los gobiernos autónomos descentralizados municipales.

En cuanto a la gestión comunitaria, la Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua, que se publicó en el Registro Oficial N°305, el 6 de agosto de 2014, otorga personería jurídica a las juntas administradoras de agua potable y a las juntas de riego y drenaje. Donde se establecen como organizaciones comunitarias sin fines de lucro, con el objeto de administrar, operar y mantener los sistemas de agua potable y riego respectivamente.

La correcta interacción entre los involucrados, podría establecer optimizaciones y mejoras en los servicios, con el objetivo de satisfacer las necesidades de los clientes. Mediante la identificación de los problemas que aquejan la gestión de los recursos hídricos, se pueden establecer las estrategias que permitan la mitigación y la solución de los mismos. Para esto se construye la matriz de involucrados, presentada en la Tabla 2.

**Tabla 2. Matriz de involucrados en la gestión y abastecimiento de los recursos hídricos**

GRUPOS INVOLUCRADOS	INTERESES	PROBLEMAS PERCIBIDOS	ESTRATEGIAS
GAD Provincial de Pichincha	Planificar, construir, operar y mantener sistemas de riego de acuerdo con la Constitución y la ley (Artículo 42 del COOTAD), (Gobierno Nacional de la República del Ecuador, 2010)).	Administración ineficiente de los recursos económicos. Falta de mantenimiento en la infraestructura. Falta de modernización de los sistemas de riego. Mala distribución de los caudales. Falta de distribución a ciertos sectores.	Mejora en el Plan Operativo Anual y el Plan Anual de Contrataciones. Incentivar mesas de trabajo con los actores directos, es decir organizaciones, asociaciones y representantes del riego. Planificación en la construcción de nuevos sistemas de riego, o ampliaciones de los existentes. Gestionar inversiones a través de créditos reembolsables y no reembolsables a través de agencias de desarrollo o multilaterales.
GAD Municipal del Cantón Pedro Moncayo Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Básico del Cantón Pedro Moncayo	Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley (Artículo 55 del COOTAD), (Gobierno Nacional de la República del Ecuador, 2010).	Administración ineficiente de los recursos económicos. Falta de mantenimiento en la infraestructura. Ampliación y modernización de la infraestructura de captación y planta de tratamiento de agua potable. Falta de estudios para	Mejora en el Plan Operativo Anual y el Plan Anual de Contrataciones. Incentivar mesas de trabajo con los actores directos, representantes barriales y comunitarios. Inversión en mejoras de la infraestructura existente, tanques de reversera, conducciones y redes de distribución.

GRUPOS INVOLUCRADOS	INTERESES	PROBLEMAS PERCIBIDOS	ESTRATEGIAS
GADs parroquiales rurales del Cantón Pedro Moncayo	Vigilar la ejecución de obras y la calidad de los servicios públicos (Artículo 64 del COOTAD), (Gobierno Nacional de la República del Ecuador, 2010) .	aprovechamiento de nuevas captaciones. Pérdidas de caudal por de agua no contabilizada. Inexistencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. Enfermedades sanitarias en la población. Contaminación de los ríos, quebradas, etc.	Estudios para la identificación de nuevas fuentes de agua. Estudios para la construcción de una planta de tratamiento de agua potable con los procesos completos (coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección). Estudios para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, con mínimo tres tipos de tratamiento. Gestionar inversiones a través de créditos reembolsables y no reembolsables a través de agencias de desarrollo o multilaterales.
Juntas Administradoras de Agua Potable	Establecer, recaudar y administrar las tarifas por la prestación de los servicios, dentro de los criterios generales regulados en la ley y reglamento de la LORHUAA. Rehabilitar, operar y mantener la infraestructura para la prestación de los servicios de agua potable (Artículo 44 de la LORHUAA), (Gobierno Nacional de la República del Ecuador, 2014).	Falta de participación en el consejo provincial y municipal. Falta de recursos económicos, para brindar apoyo al municipio en accesos viales, etc. La estructura organizacional no está bien establecida. Las administraciones duran únicamente un año, lo que interfiere en la planificación al corto y largo plazo. Tarifas bajas. Recursos económicos reducidos. Infraestructura deficiente. La calidad del agua no cumple con los parámetros mínimos por ley.	Conocimiento de la ley, para hacer uso de los presupuestos participativos, con el fin de brindar apoyo al municipio en obras públicas menores. Mayor participación en el consejo provincial y consejo municipal. Reformular reglamentos, para ampliar duración de las administraciones. Búsqueda de financiamiento, a través de convenios con municipios, prefecturas, organizaciones no gubernamentales. Contratar consultorías técnicas y comerciales para una gestión más adecuada.
Juntas de riego	Gestionar la infraestructura del sistema, sea propia de la junta o cedida en uso a ella por el Estado, a través de los diferentes niveles de gobierno. Realizar el reparto equitativo del agua que le sea autorizada entre los miembros del sistema siguiendo las regulaciones que emita la Autoridad Única del Agua. Establecer, recaudar y administrar las tarifas por la prestación del servicio a partir de los criterios técnicos regulados por la Autoridad Única del Agua (Artículo 47 de la LORHUAA) (Gobierno Nacional de la República del Ecuador, 2014).	La estructura organizacional no está bien establecida. Las administraciones duran únicamente un año, lo que interfiere en la planificación al corto y largo plazo. Tarifas bajas. Recursos económicos reducidos. Infraestructura deficiente. La calidad del agua no cumple con los parámetros mínimos por ley.	Reformular reglamentos, para ampliar duración de las administraciones. Búsqueda de financiamiento, a través de convenios con municipios, prefecturas, organizaciones no gubernamentales. Contratar consultorías técnicas y comerciales para una gestión más adecuada.

GRUPOS INVOLUCRADOS	INTERESES	PROBLEMAS PERCIBIDOS	ESTRATEGIAS
Organizaciones no gubernamentales, organismos internacionales y agencias de desarrollo	Financiamiento con fondos reembolsables y no reembolsables. Generadores de investigación. Generadores de información técnica sobre fuentes y aprovechamientos hídricos.	Falta de seguridad jurídica y económica para atraer a inversiones por parte del Gobierno. Falta de generación de incentivos fiscales y financieros por parte del Gobierno. Falta de convenios con estas entidades.	Promover la inversión extranjera, a través de seguridad jurídica y económica. Generación de incentivos fiscales y financieros. Buscar lazos a entidades no gubernamentales, y gestionar créditos con agencias de desarrollo y multilaterales.
Instituciones educativas y de investigación	Generadores de investigación. Forman profesionales en ámbitos relacionados con los recursos hídricos	Falta de recursos para investigación. Falta de convenios con universidades extranjeras. Falta de convenios para que los estudiantes puedan acceder a la empresa privada e instituciones públicas.	Asignación de recursos por parte de las instituciones de educación superior. Creación de convenios entre instituciones públicas y empresa privada con las universidades.
Sectores productivos: Sector florícola Sector agrícola	Aprovechamiento del recurso hídrico para su producción, de acuerdo a lo establecido en la ley vigente.	Falta de acceso a riego de sus plantaciones. Producción ineficiente. Calidad baja del producto. Déficit en producción y ventas.	Acceso al riego mediante actualización del plan maestro. Capacitaciones por parte del Gobierno para procesos que permitan aumentar la producción, calidad y precio de mercado.
Población local	Aprovechamiento del recurso hídrico para consumo, confiando en la calidad que presta el servicio. Contribuyentes tributarios para los gobiernos autónomos descentralizados y el gobierno.	Falta de acceso al servicios. Enfermedades sanitarias. Producción comercial ineficiente.	Ampliación de la redes de distribución. Aumento de la calidad del agua. Asignación de mayor volúmenes para el sector comercial.

## 1.2 Diagnóstico del servicio de agua potable en el cantón

Como se mencionó en el numeral 1.1, el servicio de abastecimiento de agua potable del cantón Pedro Moncayo está a cargo de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Básico de Pedro Moncayo (EP EMASA PM).

### 1.2.1 Información comercial

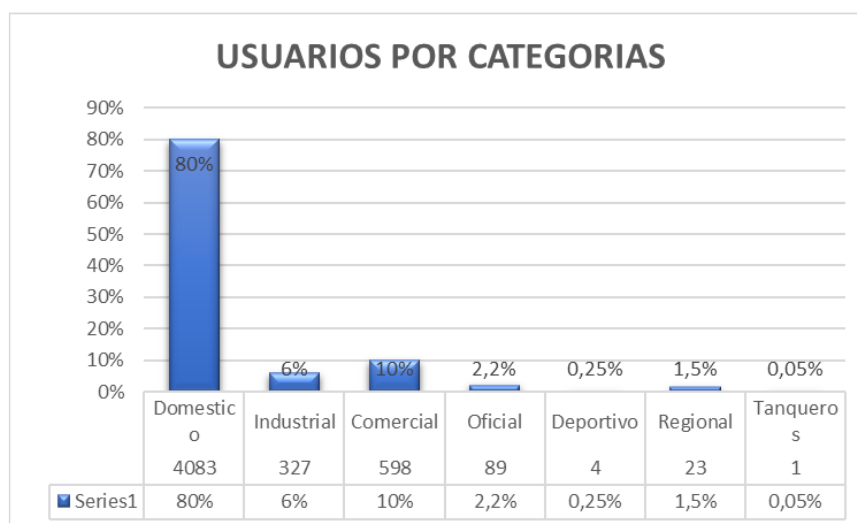
En 2021 el alcalde del GAD Municipal del Cantón Pedro Moncayo, Virgilio Andrango Cuascota expidió la reforma a la ordenanza de la estructura tarifaria y cobro de tasas de los servicios que presta la EMASA PM, que mantiene vigencia a la presente fecha y es aplicada por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Básico de Pedro Moncayo (Empresa Pública Municipal de Agua Potable, 2021).

Dentro de la misma, reformula la *clasificación del servicio*, de la siguiente manera de acuerdo a la Tabla 3:

**Tabla 3. Categorías y subcategorías de servicio de agua potable**

Categoría	Subcategoría
Residencial	Doméstica
	Comercial
	Industrial
No residencial	Pública
	Tanqueros
	Consumidores de Agua en bloque

En cuanto a la información publicada en el Informe de Gestión 2023, de EMASA PM a diciembre de 2023 la empresa reporta 5.125 cuentas, distribuidas de la siguiente manera:



**Ilustración 6. Distribución de usuarios año 2023**

Fuente: (Empresa Pública Municipal de Agua Potable, 2024)

Referido al *CARGO FIJO*, se atribuye a la tarifa fija que se refleja en la planilla mensual a cada usuario, establece la siguiente tabla de acuerdo a la categoría de servicio:

**Tabla 4. Cargo fijo de acuerdo a categorías de servicio**

Categorías	Cargo Fijo					
	Residencial	No Residencial				
Subcategoría	Doméstica	Comercial	Oficial/Pública	Tanqueros	En bloques (Regional)	Industrial
Cargo fijo	\$1.80	\$8.00	\$8.00	\$12.00	\$18.23	\$19.00

Fuente: (Empresa Pública Municipal de Agua Potable, 2021)

Como se evidencia, la tarifa fija para el sector residencial es de \$1.80. En la misma ordenanza, estipula que una vez transcurrido el primer año de vigencia, habrá un incremento de \$0.10 a la tarifa de cargo fijo, y el segundo año se incrementará \$0.10 adicionales.

Mientras que el *CARGO VARIABLE*, mantiene el criterio de subsidio cruzado de acuerdo a rangos de consumo, producto de las lecturas mensuales, para cada una de las categorías y subcategorías:

**Tabla 5. Cargo variable para categoría residencial**

Categoría	Subcategoría	Cargo variable por rango de consumo			
		A (0-10 m3)	B (11-25 m3)	C (26-40 m3)	D (>40 m3)
Residencial	Doméstica	\$0.15	\$0.17	\$0.23	\$0.28

Fuente: (Empresa Pública Municipal de Agua Potable, 2021)

**Tabla 6. Cargo variable para categoría no residencial**

Categoría	Subcategoría	Cargo variable por rango de consumo		
		A (0-10 m3)	B (11-25 m3)	C (>50 m3)
No residencial	Comercial	\$0.37	\$0.42	\$0.50
	Industrial	\$0.57	\$0.65	\$0.73

No residencial por bloques	Oficina/Pública	\$0.16	\$0.25	\$0.28
	Tanqueros	\$2.00	\$2.00	\$2.00
	Regional	\$0.063	\$0.063	\$0.063

Fuente: (Empresa Pública Municipal de Agua Potable, 2021)

### 1.2.2 Infraestructura existente

Se refiere a la infraestructura necesaria que va desde la fuente de agua hasta los medidores de cada uno de los usuarios.

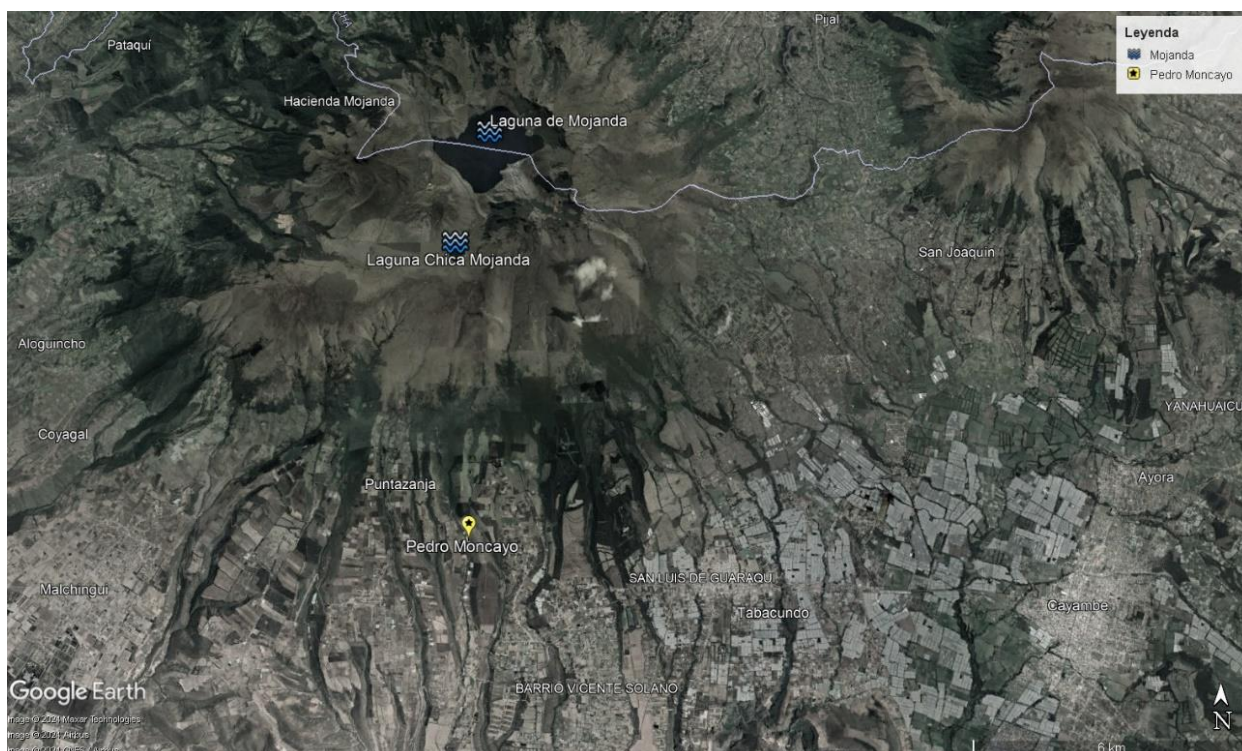
#### Captación:

La EMASA PM, cuenta con una sola captación localizada en la laguna chica de Mojanda de nominada Chiriyacu, a 3.513 msnm, construida en 1982. Es de tipo subterráneo, ya que toma de las vertientes y filtraciones de dicha laguna. El caudal autorizado por el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) es de 84,3 l/s; sin embargo, el caudal aforado mediante el vertedero existente arroja un valor de 80,5 l/s como se mencionó en el numeral 1.2.2.



**Ilustración 7. Captación Chiriyacu, laguna Chica Mojanda**

Fuente: EMASA PM



**Ilustración 8. Captación Chiriyacu, laguna Chica Mojanda**

### Línea de aducción:

Es la tubería que transporta el agua cruda desde la captación hasta la planta de tratamiento localizada en Tabacundo, abarca 29 Km compuesto por PVC en un 96,9%, y la diferencia por acero. El sistema funciona por gravedad, es decir que no requiere de impulsión mediante bombeo. Dicha infraestructura se renovó en el 2018.

### Planta de tratamiento de agua potable:

EMASA PM reporta que el agua proveniente de la captación posee características fisicoquímicas y microbiológicas aceptables, por lo que, en el tanque de la planta de tratamiento (650 m<sup>3</sup>) se realiza un único proceso de desinfección mediante cloro gas con inyección mecánica, con una solución de 100 gr/hora. Por otro lado, en los tanques de distribución, localizados a lo largo de la línea de conducción se realiza tratamiento diario con soluciones de hipoclorito de calcio al 70%.



Ilustración 9. Planta Central EMASA PM, a) Sistema de cloro gas, b) tanque de solución de cloro, c) Tanque de almacenamiento 650 m<sup>3</sup>

Fuente: EMASA PM

### Tanques de almacenamiento y distribución:

A continuación, se enlistan los tanques que posee EMASA PM, partiendo del tanque de almacenamiento de la Planta Central hacia los distintos tanques de distribución:

Tabla 7. Tanques de almacenamiento de AP

N°	Tanque de distribución	Capacidad (m3)
1	Guaraqui	50
2	La Cruz	60
3	Planta Central	650
4	Sumahuasi	50
5	Nuevo Amanecer	50
6	La Y	50
7	Cananvalle	40
8	Pucalpa	50
9	María Dolores	50
10	Simón Bolívar	50
11	San Rafael	50
12	San Luis de Tupigachi	60

Fuente: EMASA PM

### 1.2.3 Oferta de agua potable

De acuerdo a la información proporcionada por la EMASA PM del año 2024, se registra 5173 usuarios con una cobertura del servicio respecto al total de predios y número de conexiones de 96.70%, y 97.08% de cobertura de micromedición respecto al total de usuarios registrados en el sistema de agua potable de EMASA. El 100% de los medidores corresponde a un diámetro de ½" de tipo chorro múltiple. Finalmente reporta un consumo promedio mensual de 5 m<sup>3</sup> por usuario y por mes.

En cuanto a la cobertura de agua dentro de las parroquias del cantón, se distribuye de la siguiente manera:

**Tabla 8. Cobertura de agua potable dentro del cantón Pedro Moncayo**

Parroquia	%Cobertura AP
La Esperanza	88.3%
Malchinguí	89.3%
Tabacundo	87.3%
Tocachi	78.0%
Tupigachi	41.0%

Fuente: EMASA PM

Es importante recalcar que, en cada una de las parroquias del cantón, existen prestadores de servicio comunitarios que brindan a sus comunidades, denominadas Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAPs). La información generada se reporta anualmente al ente regulador, que es el Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA). A continuación, se presenta la información reportada por EMASA PM del año 2018, correspondiente a los caudales entregados de la captación Chiriyayu a los prestadores comunitarios:

**Tabla 9. Caudales entregados a los prestadores comunitarios**

Prestador Comunitario	Parroquia	Q (l/s)
JAAP Malchinguí	Malchinguí	15.5
JAAP Tocachi	Tocachi	2.0
JAAP Cochasquí	Tocachi	2.5
JAAP La Esperanza	La Esperanza	6.5
JAAP Guallaro Chico, Guallaro Grande y Picalquí	Tabacundo	2.5
JAAP San José Chico	Tabacundo	0.5
JAAP Tupigachi	Tupigachi	3.5
Total		33.0

Fuente: EMASA PM

Por otro lado, el volumen de agua tratada distribuida en la red, de acuerdo al Solís, (2021), que elaboró el *Plan Tarifario* para EMASA PM no cuenta con un Macromedidor en la fuente, por lo que el caudal se estima de acuerdo al aforo realizado en el vertedero de la captación, arrojando un valor 80.5 l/s, este valor traducido a volumen anual corresponde a 2'538,648 m<sup>3</sup>. En cuanto al volumen anual total facturado de agua potable, de acuerdo a los registros de 2020, reporta 2'146,795 m<sup>3</sup> (68.07 l/s), distribuido de acuerdo a las siguientes categorías:

**Tabla 10. Volumen total facturado de agua potable según categorías**

Categoría	Volumen (m <sup>3</sup> )
Comercial	107,503
Deportivos	5,866
Doméstica	855,189
Industrial	201,311
Oficial	38,173
Regional	938,208
Tanqueros	545
Total	2,146,795

Fuente: (Solís, 2021)

A partir de los volúmenes captados y los facturados, se puede estimar el porcentaje de agua no contabilizada (%ANC), que representa el agua que se pierde desde la fuente hasta llegar a los micromedidores de los usuarios. Estas pérdidas de manera general, se atribuyen factores comerciales y físicos, por ejemplo, conexiones clandestinas, fugas en las conducciones o redes de distribución, reboses de tanques de almacenamiento o distribución, etc. Para el cálculo se utiliza la siguiente expresión (Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009a):

$$\%ANC = \frac{\text{Volumen de agua tratada distribuida a la red} - \text{Volumen total facturado de agua potable}}{\text{Volumen de agua tratada distribuida a la red}}$$

$$\%ANC = \frac{2'538,648 - 2'146,795}{2'538,648}$$

$$\%ANC = 15\%$$

#### 1.2.4 Demanda de agua potable

De acuerdo a la Secretaria del Agua, (1992), el consumo medio anual diario se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_{med} = \frac{q * N}{1000 * 86400}$$

Donde:

- Q: Dotación (l/hab/día).
- N: Número habitantes al año de diseño.

La dotación, se define como el volumen diario de agua que requiere cada habitante para satisfacer sus necesidades, y varía principalmente en función del número de habitantes y de las condiciones climáticas. Para poblaciones de hasta 5.000 habitantes, varía entre 120 a 200 l/hab/día para climas entre frío y cálido. Para poblaciones entre 5.000 a 50.000 habitantes, varía entre 180 a 230 l/hab/día para climas entre frío y cálido. Finalmente, para poblaciones mayores a 50.000 habitantes varía entre 200 a superiores a 230 l/hab/día para climas entre frío y cálido. En el caso de Pedro Moncayo, la dotación reportada por EMASA PM, es de 180 l/hab/día.

En cuanto a la información del Censo de 2022, reporta una población 40.483 y una tasa de crecimiento del 1,71%. Con dicha información, se realiza el cálculo de la población futura (año 2024) con el método aritmético y geométrico, mediante las siguientes expresiones:

$$P_{f_{arit}} = P_o(1 + r \cdot t)$$

$$P_{f_{geom}} = P_o(1 + r)^t$$

La proyección aritmética arrojó una población de 41.868 habitantes; mientras que la geométrica 41.879 habitantes. Como se evidencia, la variación no supera el 0.50%, por lo tanto, se escoge como población de diseño de 41.879 habitantes.

Finalmente, se calcula el caudal anual medio diario con la ecuación 2, el cual arroja 87.25 l/s, lo que representa 2'751.473,705 m<sup>3</sup> anuales.

#### 1.2.5 Análisis oferta y demanda de agua potable

A partir de los caudales de oferta y demanda, se establece la relación para analizar si se encuentra en superávit o déficit de la siguiente manera:

$$\frac{Q_{Oferta_{AP}}}{Q_{Demanda_{AP}}} = \frac{68.07}{87.25} * 100\% = 78\%$$

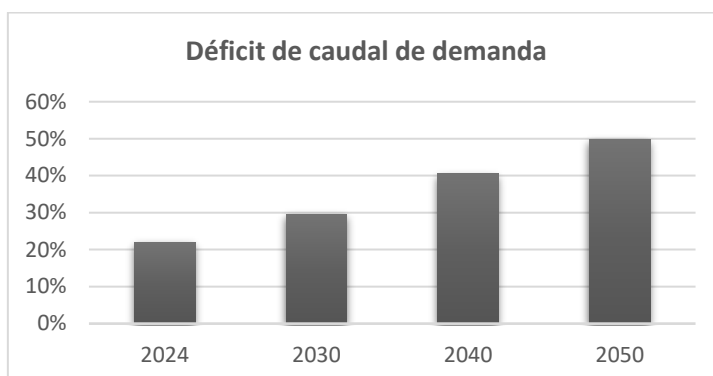
Por lo tanto, se evidencia que el caudal de agua potable ofertado para el año 2024 cubre el 78% de la demanda, lo que provoca un déficit del 22% al año 2024, lo que representa 19.17 l/s anuales.

Acorde a los datos del INEC el crecimiento poblacional dentro del cantón Pedro Moncayo se mantiene, por lo que se hace una proyección multianual del caudal demandado en función de la población proyectada y manteniendo la dotación de 180 l/hab/día, con el fin de estimar el déficit de agua potable en el futuro:

**Tabla 11. Proyección del caudal de demanda anual**

Año	2024	2030	2040	2050
-----	------	------	------	------

Población (hab)	41879	46364	54931	65081
Caudal anual de demanda (l/s)	87.25	96.59	114.44	135.59
Déficit (%)	22%	30%	41%	50%



**Ilustración 10. Déficit anual del caudal de demanda**

Como se evidencia, el incremento de la demanda es progresivo alcanzando un déficit del 50% con relación a la oferta para el año 2050, por lo que la solución se halla en incrementar la oferta, ya sea con la incorporación de nuevas fuentes de agua o alternativas para aumentar el caudal ofertado.

### 1.3 Diagnóstico del servicio de saneamiento en el cantón

El sistema de recolección de aguas servidas dentro del cantón Pedro Moncayo, de igual manera es administrado por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Básico de Pedro Moncayo (EP EMASA PM).

#### 1.3.1 Información comercial

La ordenanza "Reforma a la ordenanza, sustitutiva de estructura tarifaria y cobro de tasas de los servicios que presta la EP EMASA PM", establece el cargo variable alcantarillado" sobre el CARGO FIJO, señalado anteriormente en la Tabla 4, para las diferentes categorías de servicio:

**Tabla 12. Cargo variable para categoría residencial**

Cargo variable por rango de consumo					
Categoría	Subcategoría	A (0-10 m3)	B (11-25 m3)	C (26-40 m3)	D (>40 m3)
<b>Residencial</b>	Doméstica	\$0.10	\$0.12	\$0.16	\$0.20

Fuente: (Empresa Pública Municipal de Agua Potable, 2021)

**Tabla 13. Cargo variable para categoría no residencial**

Cargo variable por rango de consumo				
Categoría	Subcategoría	A (0-10 m3)	B (11-25 m3)	C (>50 m3)
<b>No residencial</b>	Comercial	\$0.26	\$0.29	\$0.35
	Industrial	\$0.40	\$0.45	\$0.51
	Oficina/Pública	\$0.11	\$0.17	\$0.20

Fuente: (Empresa Pública Municipal de Agua Potable, 2021)

### 1.3.2 Infraestructura existente

De acuerdo a la información proporcionada por la EMASA PM, la cabecera cantonal de Tabacundo cuenta con dos sistemas de alcantarillado combinado y los diez barrios periféricos disponen de subsistemas de alcantarillado sanitario independiente.

El sistema original fue construido por el EX-IEOS, con colectores de hormigón simple que varían entre 200 mm a 600 mm, este sistema se ha ido ampliando y manteniendo de acuerdo a las necesidades de la población y es administrado actualmente por la EMASA PM.

El cantón no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que posea los tratamientos básicos para garantizar que las aguas residuales descargadas a los cauces posean la calidad adecuada. Únicamente posee estructuras menores como tanques Imhoff, tanques sépticos filtros anaerobios, etc., que en su mayoría contaminan el río Pisque.

A continuación, se presenta un resumen de la infraestructura de saneamiento existente (Tabla 14):

**Tabla 14. Infraestructura de saneamiento de la EMASA PM**

N°	Subsistema de alcantarillado	Tipo de tratamiento	Ubicación	Año de construcción	Quebrada de descarga	Caudal aforado (l/s) dic 2023
1	Red de recolección zona centro-sur de Tabacundo	Tanque Imhoff, filtro anaeróbico, lecho de secado	Barrio 18 puruhuantag; UTM: 17N 808879.59 x 1454.52 y	2021	Sin nombre-rio pisque	12.56
2	Red de recolección zona centro-norte de Tabacundo	Tanque Imhoff, filtro anaeróbico, lecho de secado	Angumba; UTM: 17N 810861.74 x 4579.12 y	2021	sin nombre - rio pisque	8
3	Red de recolección del Barrio de Nuevo Amanecer	Rejilla tanque Imhoff filtro biológico anaeróbico lecho de secado	UTM: 17N 810338 x 7045 y	2013	mama paulina - rio pisque	0.58
4	Red de recolección del Barrio de Simón Bolívar	Rejilla tanque Imhoff filtro biológico anaeróbico lecho de secado	Panamericana via a cajas; UTM: 17N 811792.04 x 6649.39 y	2013	Cananvalle-rio pisque	0.07
5	Red de recolección del Barrio de María Dolores	Tanque séptico con dos módulos cada uno integrado por: sedimentador horizontal, reactor anaerobio y filtro anaerobio	Sector el Piman; UTM: 17N 811121 x 5215 y	2013	Cananvalle-rio pisque	1.60
6	Red de recolección del Barrio de La Alegría	Rejilla tanque Imhoff filtro biológico anaeróbico lecho de secado	UTM: 17N 813427 x 6268 y	2013	sin nombre - rio pisque	0.42
7	Red de recolección del Barrio Marianitas Denmar	Tanque Imhoff filtro biológico anaeróbico lecho de secado	UTM: 17N 813214.38 x 4959.99 y	2013	sin nombre - rio pisque	0.68

N°	Subsistema de alcantarillado	Tipo de tratamiento	Ubicación	Año de construcción	Quebrada de descarga	Caudal aforado (l/s) dic 2023
8	Red de recolección del Barrio El Calvario	Rejilla tanque Imhoff lecho de secado	UTM: 17N 809183.43 5780.34 y	sin registro antes del 2013	sin nombre - rio pisque	
9	Red de recolección del Barrio La Concepción	Sedimentador Digestor anaeróbico filtro biológico anaeróbico	UTM: 17N 809939 x 4782 y	2013	San Blas- rio pisque	1.21
10	Red de recolección del Barrio Playita	Tanque séptico dos cámaras	Sector el Piman; UTM: 17N 811059.04 x 5174.68 y	sin registro antes del 2013	sin nombre - rio pisque	Sin dato
11	Red de recolección del Barrio la Y	Tanque séptico dos cámaras	Sector el Piman; UTM: 17N 811048 x 5144 y-	sin registro antes del 2013	sin nombre - rio pisque	Sin dato
12	Red de recolección del Barrio Pucalpa	Tres tanques sépticos ubicados por todo el barrio	UTM: 17N 812460.65 x 6797.08 y	sin registro antes del 2013	sin nombre - rio pisque	Sin dato
13	Red de recolección del Barrio Bandola Vive	Sedimentador Digestor anaeróbico filtro biológico anaeróbico	UTM: 17N 808587.65 x 4429.72 y	sin registro antes del 2013	sin nombre - rio pisque	Sin dato
14	Red de recolección del Barrio 1ro de Octubre	Canal de ingreso, rejilla, desarenador, Dos reactores anaeróbicos de flujo ascendente, dos zanjas filtrantes; dos lechos de secado	UTM: 17N 808003.95 x 4817.31 y	2018	sin nombre - rio pisque	0.39

Fuente: EMASA PM

### 1.3.3 Aguas residuales producidas

EMASA PM no cuenta con macromedidores en el ingreso ni salida de las estructuras de tratamiento, o en las descargas de las aguas. Los caudales son medidos mediante aforos realizados en las estructuras de vertederos detallado en la Tabla 13. De esta se desprende que la sumatoria de los caudales registrados es de 25.51 l/s. Sin embargo, cinco de las catorce descargas no cuenta con un dato, por lo tanto, el caudal total es menor al real.

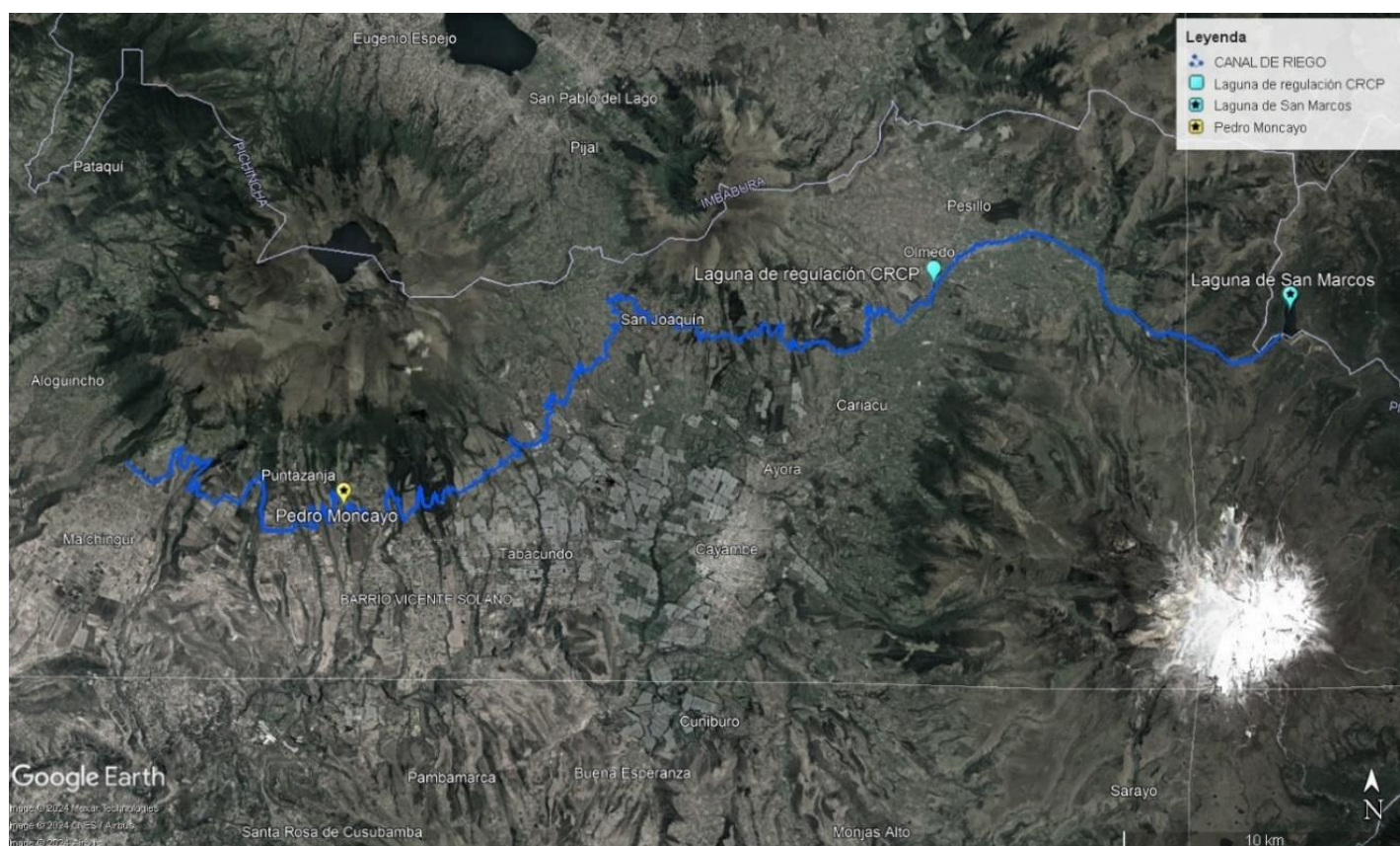
Por otro lado, haciendo uso del término *Coefficiente de Retorno (R)*, este se define como la fracción del agua de uso doméstico servida (dotación neta), entregada como agua negra al sistema de recolección de aguas residuales. Este valor es utilizado como caudal de diseño para los sistemas de alcantarillado sanitario.

Dicho factor según la norma de diseño de sistema de alcantarillado de la ciudad de Quito (2009), varía entre el 0.7 al 0.85, y el factor que influye de manera directamente proporcional es el *Nivel de complejidad del sistema*. Normalmente, este factor se utiliza como 0.8. Aplicando al presente caso, el caudal facturado de 68.07 l/s (numeral 1.2.3) multiplicado por el 80%, arroja un 54.46 l/s.

Con estos valores, la única certeza que se tiene en cuanto al caudal que se descarga hacia los cauces naturales del cantón Pedro Moncayo, son los registrados por la EMASA PM, finalmente, se toma como caudal de aguas residuales en valores de 25.51 l/s.

## 1.4 Diagnóstico del riego en el cantón

Como se mencionó en el numeral 1.1, la competencia exclusiva del riego, es atribuido a los gobiernos descentralizados provinciales. En ese sentido, el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pichincha tiene a su cargo la planificación, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de riego de la provincia. El sistema de riego más importante es el canal de riego Cayambe-Pedro Moncayo.



**Ilustración 11. Canal de riego Cayambe-Pedro Moncayo**

Fuente: Google Earth

### 1.4.1 Canal de riego Cayambe-Pedro Moncayo

El canal de riego Cayambe-Pedro Moncayo (CRCP) tiene como objetivo proporcionar agua de riego a 12,000 hectáreas de cultivos, beneficiando a alrededor de 10.000 familias en los cantones de Cayambe y Pedro Moncayo. Este sistema de riego involucra la captación, conducción y distribución de agua a través de una serie de infraestructuras complejas como túneles, embalses y canales principales y secundarios.

La necesidad de agua para riego en Tabacundo data de 1914, con la construcción de la primera acequia comunitaria en 1930. En 1978 se iniciaron los estudios definitivos, y en 1998 se adjudicó la construcción a la empresa brasileña Andrade Gutiérrez. La obra se detuvo en 2002, pero fue retomada en 2005 por el Gobierno de Pichincha. En 2010, se firmó un convenio de cooperación interinstitucional con un apoyo económico del Gobierno Nacional de 82 millones de dólares. En 2011, se contrató a Hidalgo e Hidalgo para la construcción de las obras. Este sistema de riego se construyó mediante la alianza público – comunitaria, y abastece a las parroquias de Olmedo, Ayora, Tupigachi, Tabacundo, La Esperanza, Tocachi y Malchinguí.

El proyecto tiene como objetivo asegurar el acceso equitativo al agua para las comunidades locales y enfocar en la soberanía alimentaria mediante infraestructura para riego, gestión social del agua y desarrollo productivo local. Beneficia a más de 10.000 pequeños productores y riega 12.000 hectáreas. Se estima una producción anual significativa de alimentos y leche, contribuyendo a la seguridad alimentaria de la región y del país. La inversión total del proyecto es de 200 millones de dólares, con una contribución de 40 millones de dólares del Gobierno de Provincial de Pichincha.

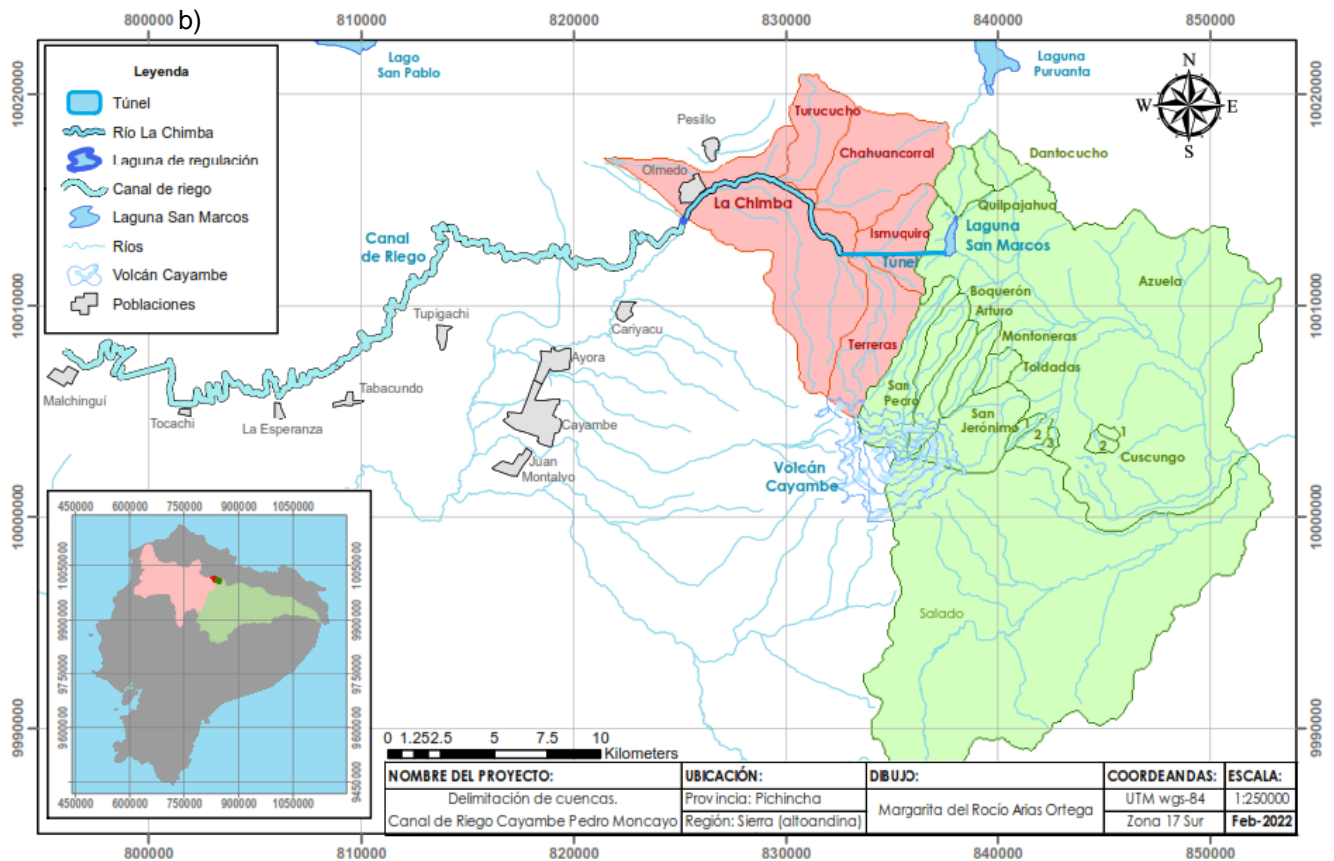
El impacto social y económico del proyecto mejora la calidad de vida de más de 14.000 familias, promueve la independencia económica y un futuro sostenible. El proyecto está integrado con otros programas de desarrollo económico y social, como la economía popular y solidaria, y políticas ambientales. Según información del GAD Provincial de Pichincha, una vez que se recibió el Canal de Riego Cayambe-Pedro Moncayo, inició el proceso de creación de un modelo de gestión público-comunitario definitivo que permita el desarrollo productivo de la zona de estos dos cantones (Gobierno Provincial de Pichincha, 2022; Prefectura de Pichincha, 2021).

Durante la ejecución de la obra y en la operación, se ha mantenido convenios de cooperación público-comunitario, entre la Prefectura de Pichincha y las organizaciones COINOA (Corporación de las Organizaciones Indígenas de Olmedo y Ayora) y CODEMIA (Consortio de Desarrollo de Manejo Integral de Agua y Ambiente).



**Ilustración 12. Esquema canal de riego Cayambe-Pedro Moncayo**

Fuente: GAD Provincial de Pichincha



**Ilustración 13. Mapa canal de riego Cayambe-Pedro Moncayo**

Fuente: (Arias Ortega, 2024)

### 1.4.2 Infraestructura existente del CRCP

#### Captación:

La obra capta las aguas de los ríos Arturo, Boquerón, San Pedro y La Chimba, que provienen de las vertientes orientales del nevado Cayambe. Las captaciones de los ríos Arturo, Boquerón, San Pedro están constituidos por una toma de fondo, tipo caucasiana o tirolesa, y un desarenador tipo longitudinal con una sola cámara. Mientras que la captación del río La Chimba, está conformada por una toma lateral tipo dique, una cámara desripadora, y un desarenador de dos cámaras. El caudal es transportado por tres túneles de trasvase, Arturo – Boquerón, Boquerón – San Pedro y San Pedro – La rápida.

#### Embalse y presa:

Estos llegan a la laguna de San Marcos, que tiene una capacidad de 2'000.000 m<sup>3</sup>, y con la presa de 870 m de longitud, corona de 8 m de ancho y 16 m de altura, con una capacidad de 10 m<sup>3</sup>.

#### Túnel de trasvase:

Se toma el agua de la laguna a través del túnel de trasvase, con una longitud de 5 km hasta que desemboca en el río La Chimba hasta la laguna de regulación con una capacidad de 45 000 m<sup>3</sup>, localizada a 10 km.

#### Canal de distribución:

Finalmente, la distribución se realiza mediante un canal principal a cielo abierto de 67 km conformado por hormigón armado, que transporta un caudal promedio de 6,3 m<sup>3</sup>/s, desde Olmedo hasta Malchinguí, complementado con 59 ramales secundarios de tubería enterrada que riegan las parcelas de los beneficiarios, con en longitud suman aproximadamente 200 km (Berrezueta Valladolid, 2019).



Ilustración 14. a) Laguna de regulación, b) Canal de riego, c) Laguna San Marcos, d) Presa Laguna Marcos  
Fuente: GAD Provincial de Pichincha

### 1.4.3 Situación hídrica del riego

La laguna de San Marcos posee una capacidad de 2 millones de metros cúbicos de agua, y con la represa constituye un embalse con una capacidad de 10 millones de metros cúbicos.

Las concesiones correspondientes para el proyecto de riego Cayambe-Pedro Moncayo, se extrae del estudio hidrológico de actualización de la demanda de caudal, para el diseño de la presa de la laguna de San Marcos, realizado en 2008 por los ingenieros Paul Torres y Cristian Coello. De este, se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 15. Concesiones para el proyecto de riego Cayambe-Pedro Moncayo**

Captación	Q medio (m <sup>3</sup> /s)	Q disponible (m <sup>3</sup> /s)
Azuela	1,20	1,08
San Pedro	0,50	0,45
Arturo	0,33	0,30
Boquerón	0,55	0,50
La Chimba	2,21	1,99
San Jerónimo	0,87	0,78
Montoneras	0,21	0,19
Dantocucho	0,40	0,36
Toldadas	0,042	0,04
Cuscungo	0,048	0,04

Fuente: (Torres & Coello, 2008)

De esta información, se puede apreciar que el caudal disponible de acuerdo al estudio es de 5.73 m<sup>3</sup>/s, sin embargo, Berrezueta Valladolid (2019) evidencia la existencia de concesiones de la cuenca del río La Chimba para usuarios particulares, por un caudal total de 0.754 m<sup>3</sup>/s. Adicionalmente, en 2003 existió una concesión

para el proyecto Pesillo Imbabura de 1,6 m<sup>3</sup>/s. Lo cual, arroja un caudal disponible neto de 3.37 m<sup>3</sup>/s aproximadamente.

En cuanto a la demanda de agua para riego, Torres & Coello (2008) determinó a través de datos climatológicos, valores de precipitación media con una garantía del 80% y la evapotranspiración de referencia, identificando un área de 13,409 hectáreas como adecuada para riego. Se consideraron tres sistemas de riego: gravedad, aspersión y goteo, con sus respectivas eficiencias, lo que resultó en una eficiencia combinada del sistema de riego del 60%. Basado en los escenarios contemplados en el plan de cultivos, que se desarrolló con la información recopilada en campo, se estableció un caudal promedio anual requerido para el proyecto de 3.75 m<sup>3</sup>/s. Además, se determinó la demanda de agua potable para el proyecto Pesillo-Cayambe, utilizando proyecciones poblacionales para el año 2032, la cual se estimó en 800 l/s aproximadamente.

Esto quiere decir que, en una primera instancia, el proyecto cuenta con un déficit en la oferta de caudal para abastecer las áreas de riego para las que fue concebido, así como los caudales concesionados para otros fines, que se enmarcan en compromisos políticos de los diferentes gobiernos de turno.

#### **1.4.4 Situación actual del CRCP**

En la actualidad el sistema no se encuentra en operación del 100%, esto debido a varios problemas de diferente índole. El más complejo, es la creación del modelo de gestión público comunitario, ya que la empresa que administrará, operará y mantendrá la infraestructura debe llegar a un consenso en cuanto a las obligaciones y responsabilidades para que la empresa sea rentable en el tiempo.

El uso del agua de riego del canal, por un lado, beneficiará al sector privado, en especial las florícolas y haciendas ganaderas localizadas en el Tabacundo y Cayambe. En segundo lugar, beneficiará a las comunidades rurales de las parroquias de Olmedo, Ayora, Tupigachi, Tabacundo, La Esperanza, Tocachi y Malchinguí; que a lo largo de su historia y actualmente, han realizado una gestión basada en la comunidad, es decir, que los trabajos físicos relacionados a obras civiles, limpiezas, mantenimientos, etc., se las realiza por mingas, sin haber un aporte económico por parte de los socios o clientes, en cuanto a los materiales o flujos monetarios para la adquisición de insumos o materiales, se gestionan mediante solicitudes de contribución a los municipios cantonales y provinciales, organizaciones no gubernamentales o la empresa privada.

Otro problema relacionado, es que no se han construido en su totalidad las redes terciarias, es decir, las interconexiones desde las válvulas de toma del canal principal hacia los predios que harán uso del recurso. Dicha gestión, la han llevado a cabo organizaciones comunitarias, como son la CODEMIA, COINOA, a través del sector público y auto financiamiento, sin embargo, no se tiene cuantificado con exactitud cuánto es el déficit de infraestructura para que todas las redes que contemplaron el estudio, se hayan ejecutado.

Por tal motivo, a la presente fecha, no se ha podido identificar los usuarios o potenciales usuarios que serán parte del sistema, y por ende, no se ha establecido un plan tarifario, que permita la rentabilidad y funcionamiento eficiente de la infraestructura.

Finalmente, es importante recalcar, que las concesiones de agua, y la infraestructura principal están listas para su funcionamiento, lo que hace falta es la voluntad política y comunitaria para que los beneficiarios finales hagan uso del agua para el riego de sus sembríos.

# CAPÍTULO 2: PROPUESTA CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE RECARGA DE ACUÍFEROS PARA CUBRIR EL DÉFICIT DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN PEDRO MONCAYO

## 2.1 Análisis de problemas

Continuando con la metodología del marco lógico, es esencial identificar el problema a intervenir, junto con sus causas y efectos. El proceso incluye analizar e identificar los problemas principales, establecer el problema central mediante una lluvia de ideas, definir los efectos más significativos, anotar las causas del problema central y construir un árbol de problemas que represente la situación negativa completa. Finalmente, se revisa la validez e integridad del árbol de problemas para asegurar que las causas y efectos estén correctamente representados y las relaciones causales bien definidas (Aldunate & Córdoba, 2011b; Ortegón et al., 2005).

Como ya se ha hecho énfasis en el la introducción y capítulo 1, el problema principal del proyecto radica en el déficit de agua potable que existe en el cantón Pedro Moncayo, a continuación, se identificaron las principales causas y sus respectivos efectos para la construcción del árbol de problemas.

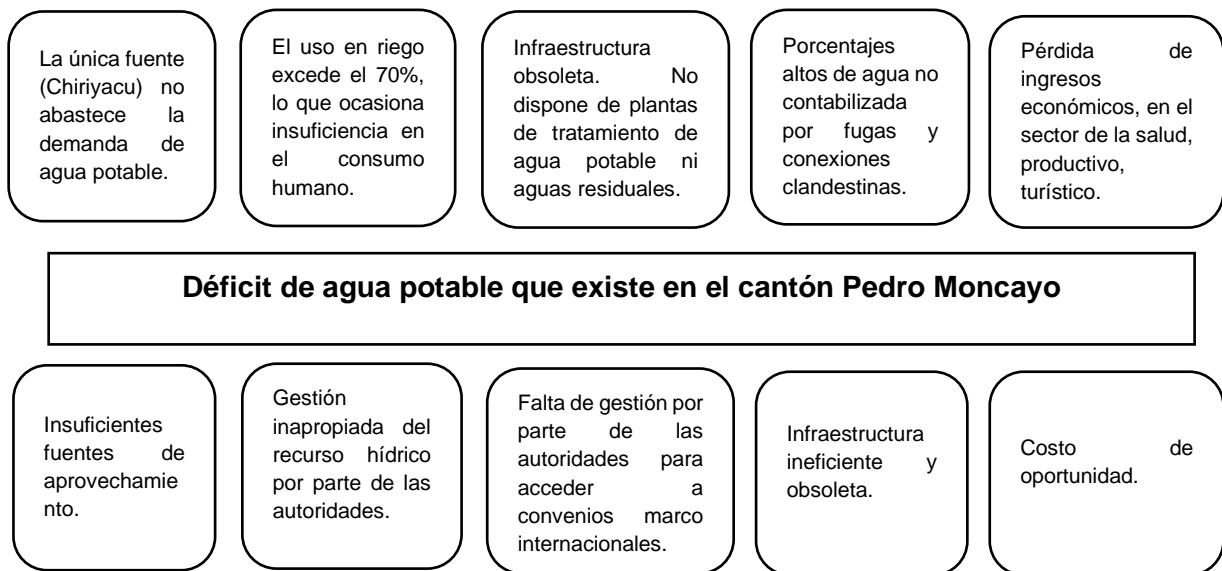
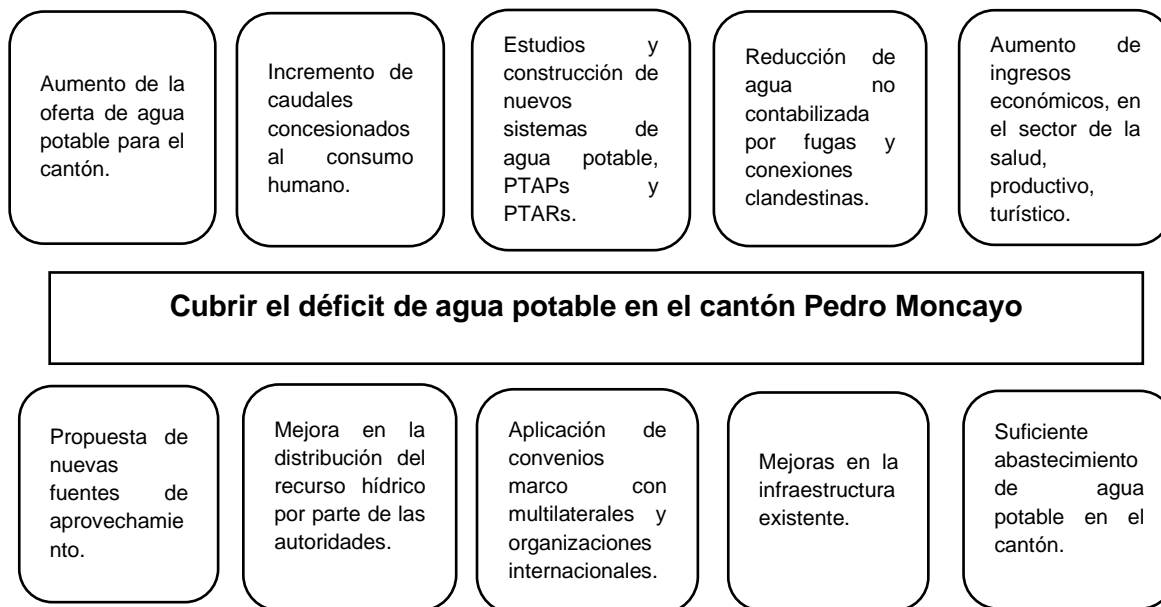


Ilustración 15. Árbol de problemas del déficit de agua potable en el cantón Pedro Moncayo

## 2.2 Análisis de objetivos

El análisis de los objetivos describe la situación futura deseada tras resolver los problemas, transformando los estados negativos del árbol de problemas en soluciones positivas, presentadas en un diagrama de objetivos que muestra la jerarquía de medios y fines. Este diagrama ofrece una visión clara de la situación positiva buscada. Tras construir el árbol de objetivos, es esencial examinar las relaciones de medios y fines para asegurar la validez del análisis. Si se detectan inconsistencias, se debe revisar y corregir el árbol, modificando formulaciones incorrectas, agregando nuevos objetivos relevantes y eliminando aquellos que no resulten efectivos, manteniendo la flexibilidad del método (Aldunate & Córdoba, 2011b; Ortegón et al., 2005).

Por lo tanto, la solución propuesta se basa en la cobertura del déficit de agua potable en el cantón Pedro Moncayo haciendo uso de los conceptos de economía circular a través de la extensión de un uso adicional al ciclo urbano del agua.



**Ilustración 16. Árbol de objetivos para cubrir el déficit de agua potable en el cantón Pedro Moncayo**

### **2.3 Análisis de alternativas**

A partir del árbol de objetivos, donde se identificaron los medios y fines, para dar cumplimiento al objetivo de cubrir el déficit de agua en el cantón Pedro Moncayo, se proponen alternativas tomando en cuenta la falta de infraestructura, la inadecuada distribución del agua, y la insuficiente gestión de las autoridades para hacer uso de los convenios de cooperación macro que dispone el gobierno ecuatoriano. A su vez, se hace uso de la aplicación de la economía circular y la economía circular del agua, en el sentido optimizar o ampliar los procesos dentro del ciclo urbano del agua.

En tal sentido, se reducen alternativas tradicionales como la gestión de concesiones nuevas, o compra de agua en bloque a otras empresas de agua potable, explotación de fuentes subterráneas, etc.

La alternativa tomando en cuenta la economía circular, en el aumento de un ciclo más del uso del agua, en este caso, la propuesta se basa en el reúso de las aguas residuales para el uso en riego, para conseguir eso se deben cumplir características de calidad de acuerdo a la FAO y la OMS, por tal motivo es necesario el tratamiento completo de las aguas residuales mediante una planta que además cuente con procesos eficientes y sea alimentado por energía renovables, adicionalmente tomando en cuenta las fuentes subterráneas del sitio, se aprovechará la recarga de los acuíferos de Mojanda, que aportarán con una depuración extra para finalmente incorporarse al sistema de riego Cayambe-Pedro Moncayo. Finalmente, el caudal que proviene de las aguas residuales podrá ser reasignado al GAD Cantonal para aportar a la oferta de agua potable del cantón Pedro Moncayo.

Esta alternativa cumple con el criterio basado en el beneficio de triple impacto que promueve la economía circular, es decir, el económico, social y ambiental; ya que a al mediano y largo plazo se podrá suplir el déficit de agua potable, lo que aportará en la economía del cantón ya que incentivará al sector comercial, productivo y turístico, de tal manera, que se aproveche el costo de oportunidad. En materia ambiental, evitará de la descarga de aguas contaminadas al río Pisque, principal cauce donde deposita Tabacundo. En cuanto al sistema de recarga de acuíferos, aportará a la preservación de las áreas y volúmenes de las lagunas de Mojanda. Finalmente, en el ámbito social, creará fuentes de trabajo temporales en las etapas de construcción de la infraestructura y plazas permanentes en las empresas que administrarán, operarán y mantendrán ambos sistemas.

## 2.4 Matriz de Marco Lógico

La Matriz de Marco Lógico resume los aspectos más importantes de un proyecto en cuatro columnas que proporcionan: un resumen narrativo de objetivos y actividades, indicadores de resultados específicos a alcanzar, medios de verificación y supuestos que implican riesgos externos. Además, organiza la información en cuatro filas correspondientes a diferentes momentos del proyecto: el fin al que contribuye significativamente tras su funcionamiento, el propósito logrado al ejecutarlo, los componentes/resultados completados durante su ejecución y las actividades necesarias para producir esos componentes/resultados (Aldunate & Córdoba, 2011b; Ortegón et al., 2005).

En este caso, el fin consiste en cubrir el déficit de agua potable dentro del cantón Pedro Moncayo. La manera de lograr el propósito es primeramente, firmar un convenio entre el Municipio de Pedro Moncayo y la Prefectura de Pichincha para que un caudal equivalente de riego sea cedido para consumo humano, dicho caudal será producto de las aguas residuales tratadas y posterior recarga en los acuíferos de Mojanda, donde finalmente, se incorporará al canal de riego Cayambe-Pedro Moncayo.

Para plasmar el proyecto será necesario la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales administrada por el Cantón Pedro Moncayo, y el sistema de recarga y bombeo del acuífero de Mojanda administrada por la Prefectura de Pichincha. La viabilidad de los estudios y las obras, en primera instancia deberá existir acuerdo entre las partes, para las posteriores gestiones de financiamiento que existen mediante convenios de fortalecimiento institucional y preinversión, como es el programa de Fortalecimiento de servicios de Agua y Saneamiento (PFA), con fondos provenientes Facilidad de Inversión para América Latina (LAIF), de la Unión Europea, que son canalizados por la Agencia de Desarrollo Francesa (AFD), para la inversión en proyectos de agua y saneamiento de los municipios y empresas públicas de Ecuador, dichos convenios se suscriben a través del Banco de Desarrollo del Ecuador (BDE), por lo que en este caso aplicaría para el presente proyecto.

De esta manera, se podrá satisfacer las necesidades básicas como es el servicio de agua potable 24/7 en el cantón Pedro Moncayo, aumentando el bienestar y mejora de la salud en la población, así como incentivar los sectores comerciales, productivos y turísticos del cantón. Por otro lado, el tratamiento de las aguas residuales evitará de la contaminación en su descarga a los afluentes, particularmente al río Pisque. La recarga de los acuíferos de manera tecnificada aportará a la preservación de las áreas inundables y volúmenes de las lagunas de Mojanda.

En la tabla 16, se presenta la Matriz de Marco Lógico con el desarrollo de la metodología.

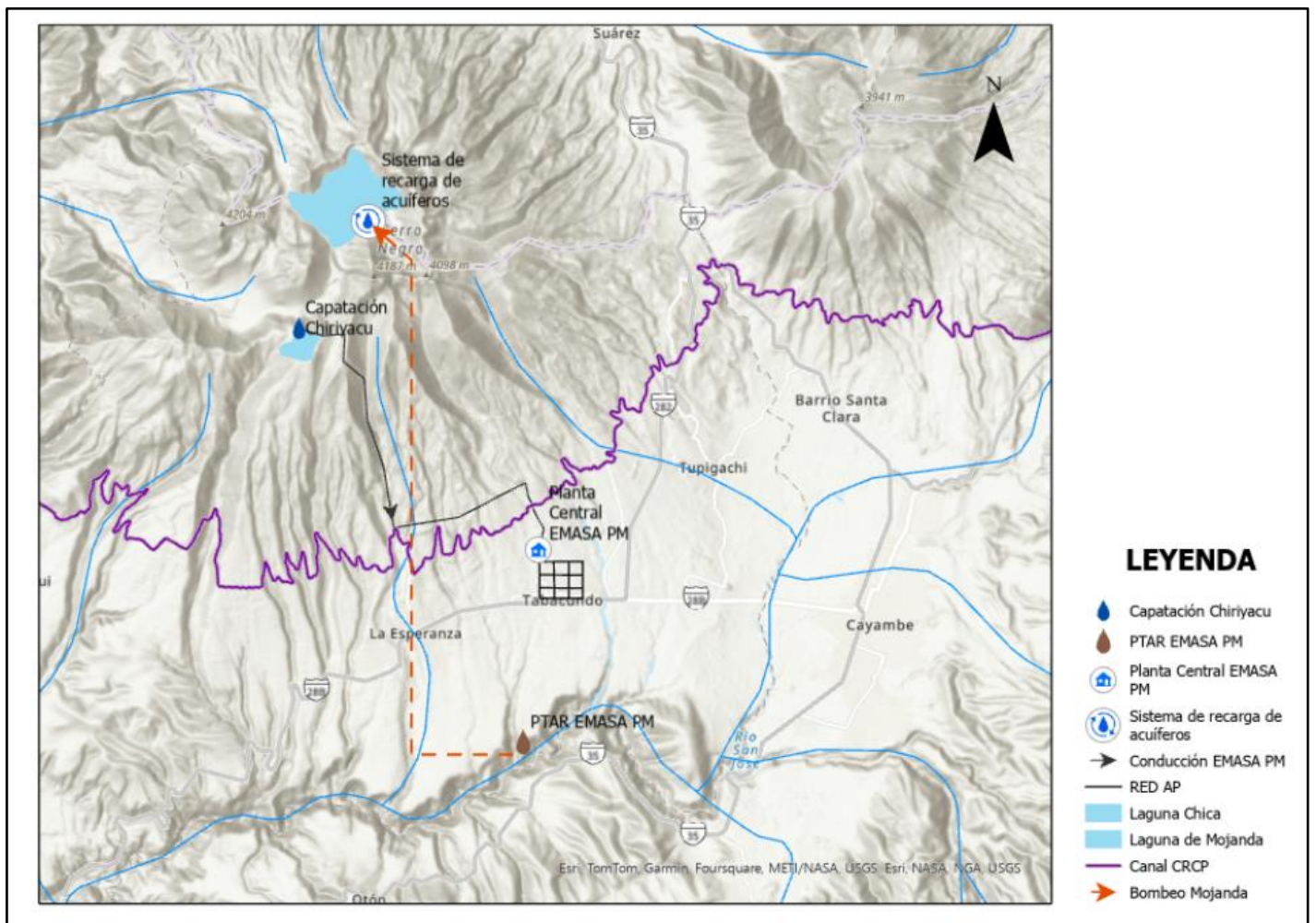
**Tabla 16. MML para cubrir el déficit de agua potable en el cantón Pedro Moncayo**

Narrativa del proyecto	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
<p><b>Fin</b> Cobertura de la demanda de agua potable en el cantón Pedro Moncayo.</p>	<p>Abastecimiento del servicio de agua potable el 100% del tiempo por parte de la EMASA PM. Bienestar y mejora de la salud en la población, aumento de los ingresos monetarios en el sector comercial, productivo y turístico.</p>	<p>Planillas mensuales. Informes de gestión. Planes tarifarios. Ordenanzas.</p>	<p>Aumento considerable de la población por sobre las proyecciones.</p>
<p><b>Propósito</b> Asignación de caudal para agua potable, equivalente al que se entregará proveniente de las aguas residuales tratadas y depurado mediante la</p>	<p>Aumento de la oferta de agua potable sin afectar la oferta del correspondiente al riego dentro del cantón Pedro Moncayo.</p>	<p>Planillas mensuales. Informes de gestión. Planes tarifarios. Ordenanzas. de la EMASA PM y dirección del canal de riego</p>	<p>Decisiones políticas. Desalineamiento entre las autoridades cantonales y provinciales.</p>

Narrativa del proyecto	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
recarga en un acuífero para el reúso en riego.		Cayambe-Pedro Moncayo GAD Pichincha.	
<b>Resultado 1</b> Diseño y construcción de una planta de tratamiento completa de aguas residuales.	Tratamiento de las aguas residuales del cantón Pedro Moncayo, y evitar la descarga a los cauces.	PTAR Pedro Moncayo. Unidad o dirección de EMASA PM que administre la planta.	Gestión inadecuada para acceso a créditos reembolsables y no reembolsables por parte de multilaterales y organizaciones internacionales. Tramitología en permisos de construcción y ambientales.
<b>Resultado 2</b> Diseño y construcción de un sistema de recarga de acuíferos, y sistema de bombeo de las aguas del acuífero.	Preservación de los acuíferos de Mojanda a través de la recarga mediante las aguas residuales tratadas.	Sistema de recarga y explotación de acuíferos de Mojanda-Pedro Moncayo. Unidad o dirección del GAD Pichincha que administre la planta.	Gestión inadecuada para acceso a créditos reembolsables y no reembolsables por parte de multilaterales y organizaciones internacionales. Tramitología en permisos de construcción y ambientales.
<b>Actividad 1</b> Crear un convenio entre el GAD municipal y el GAD Provincial para la asignación del caudal equivalente al entregado de las aguas residuales tratadas.	Socializaciones, mesas de trabajo por parte de las autoridades y la ciudadanía.	Firma del convenio. Creación de un directorio con participación de los delegados del GAD cantonal, del GAD provincial y del BDE.	Inferencia política en las decisiones técnicas.
<b>Actividad 2</b> Gestión de crédito a través del BDE para acceso al financiamiento de los estudios y construcción de la PTAR Pedro Moncayo.	Ejecución de las obras correspondiente a la PTAR.	Firma del crédito. Ejecución de los contratos de estudios y diseño. Ejecución del contrato de obra.	Caducidad de los convenios macro. Priorización en otros proyectos de saneamiento.
<b>Actividad 3</b> Gestión de crédito a través del BDE para acceso al financiamiento de los estudios y construcción de del Sistema de recarga y explotación de acuíferos de Mojanda-Pedro Moncayo.	Ejecución de las obras correspondiente al sistema de recarga y explotación de los acuíferos de Mojanda.	Firma del crédito. Ejecución de los contratos de estudios y diseño. Ejecución del contrato de obra.	Caducidad de los convenios macro. Priorización en otros proyectos de saneamiento.

## 2.5 Sistema de recarga de acuíferos

El proyecto (Ilustración 17), en primera instancia, se deberá definir el caudal que considerará el convenio para la cesión por parte de la Prefectura de Pichincha al Municipio del Cantón Pedro Moncayo. Para lo cual, el caudal de diseño para una PTAR es la suma del máximo horario, más el caudal de infiltración y más el de conexiones erradas. En este caso, al no disponer información, se hace uso del caudal estimado en numeral 1.2.5 para una proyección de 25 años, es decir al año 2025 y por un coeficiente mayoración, estableciendo un caudal de diseño de 300 l/s.



**Ilustración 17. Esquema Sistema de Recarga de Acuíferos**

Con esta consideración se describen de manera conceptual las obras integrales que permitirán el sistema de recarga de acuíferos:

### **2.5.1 Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)**

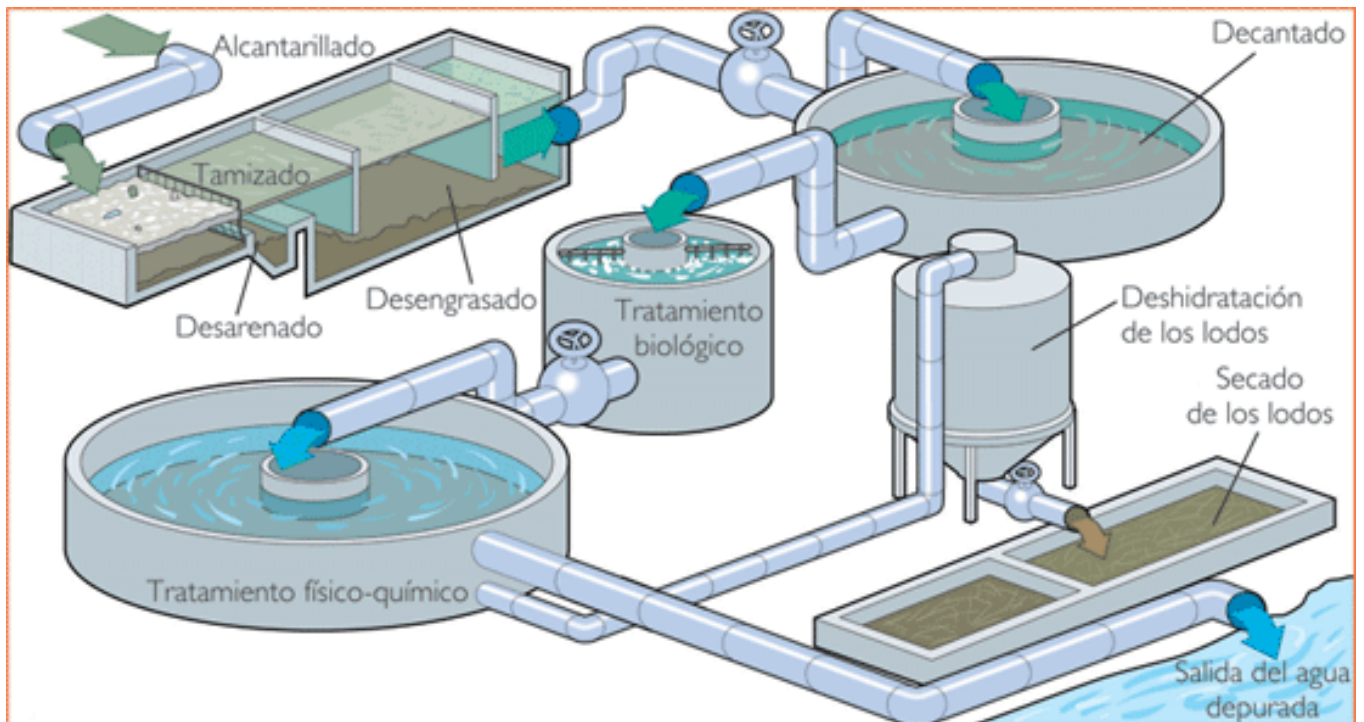
Se deberá contar con los estudios para el diseño y posterior construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. El sitio propuesto para la “PTAR Pedro Moncayo” (Ilustración 18) es en la comunidad Puruhantag, localizada al sur de la cabecera cantonal Tabacundo, donde actualmente se encuentra la planta principal para el tratamiento de Tabacundo.



**Ilustración 18. Localización tentativa PTAR Pedro Moncayo**

Fuente: Google Earth

La PTAR deberá contar con pretratamiento para la remoción de sólidos y partículas granulares, tratamiento primario que consta de decantadores primarios, tratamiento secundario que contempla reactores biológicos y decantadores secundarios, y tratamiento terciario que se compone por filtración, desinfección y remoción de nutrientes (Ilustración 19). Adicionalmente, se debe contemplar el tratamiento de lodos o fangos, que consta de espesadores de lodos, digestores anaerobios, deshidratación de lodos y disposición final.

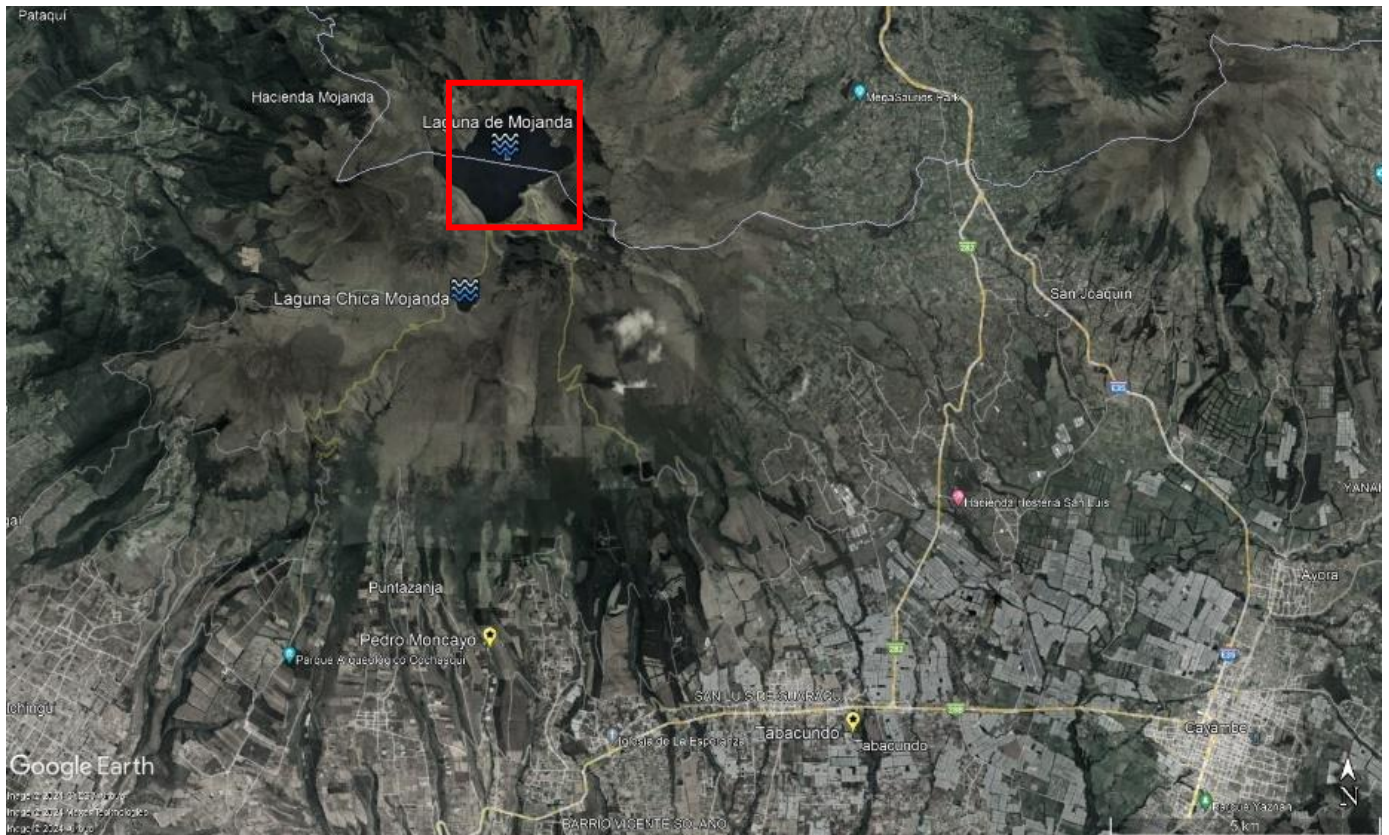


**Ilustración 19. Esquema PTAR**

Fuente: MAS-INDUSTRIA

## 2.5.2 Sistema de recarga y bombeo de acuíferos de Mojanda

El “Sistema de recarga y explotación de los acuíferos Mojanda”, deberá contratar estudios que permitan el diseño del sistema de recarga y bombeo de los acuíferos de Mojanda (Ilustración 20). Estos caracterizarán el o los tipos de acuíferos, a través de estudios geofísicos, geológicos, hidrogeológicos, agua subterránea, estudios de impacto ambiental. Posteriormente será necesario la instalación de pozos de observación y pruebas de bombeo que permita medir la tasa de caudal y recuperación.



**Ilustración 20. Ubicación de los acuíferos en las lagunas de Mojanda**

Fuente: (CONAMA, 2020)

Una vez que las aguas sean tratadas, deberán bombearse hasta las lagunas de Mojanda a través de una línea de impulsión. Posteriormente se dispondrán las aguas en lagunas de infiltración que aportarán a la recarga de manera superficial, adicionalmente se construirán pozos de inyección, que serán someros o profundos dependiendo del tipo de acuífero, y permitirán la recarga controlada de las aguas tratadas directamente a los acuíferos. El sistema deberá contar con monitoreo a través de pozos que permitan medir los niveles y calidad del agua subterránea en el acuífero.

A la par se deberá instalar el sistema de explotación de acuíferos (Ilustración 21), para la extracción del agua subterránea que contendrá la dilución de las aguas tratadas con las aguas naturales producidas por las lagunas de Mojanda, se deberán construir pozos profundos o someros, dependiendo del tipo de acuífero, donde albergarán bombas tipo sumergibles o de eje vertical, con equipo de control y monitoreo de caudal, nivel y presión. Finalmente se dispondrán las aguas bombeadas para la conducción hacia el canal de riego Cayambe Pedro Moncayo.

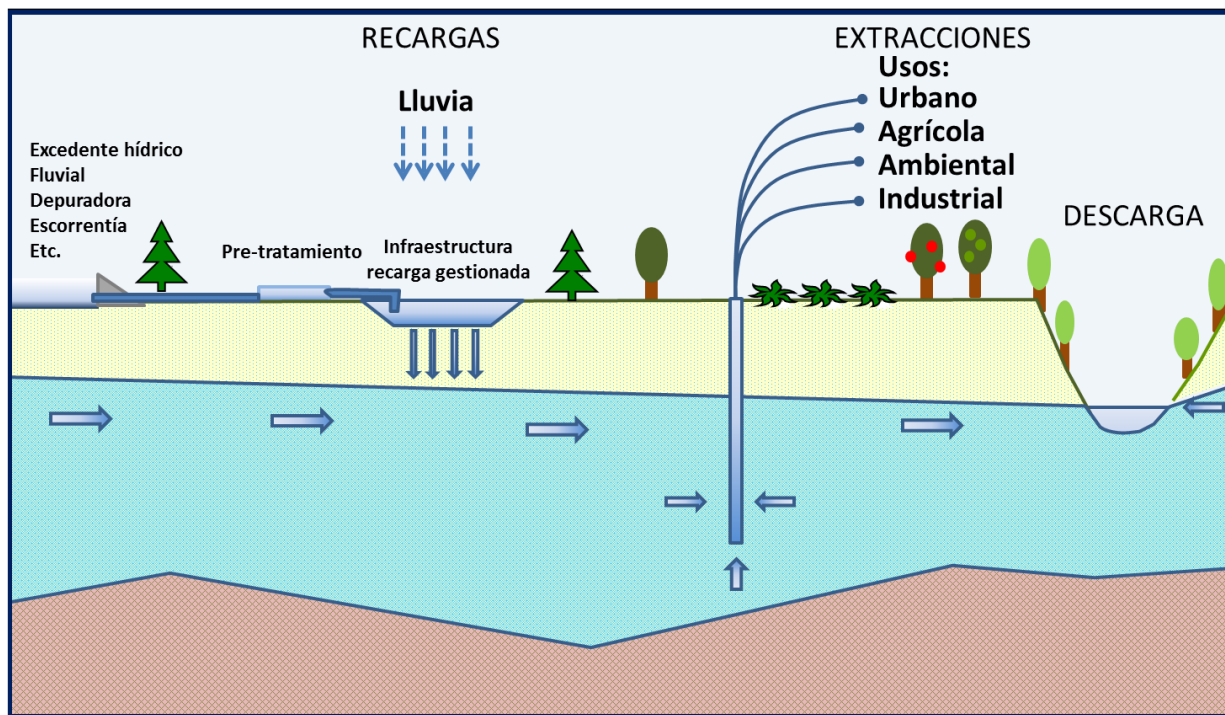


Ilustración 21. Esquema recarga y extracción de acuíferos

Fuente: (CONAMA, 2020)

## 2.6 Presupuesto referencial

A continuación, en la Tabla 17, se presenta un presupuesto referencial donde consta los estudios y las obras de la “PTAR Pedro Moncayo” y los estudios y obras del “Sistema de recarga y explotación de los acuíferos Mojanda”.

Tabla 17. Presupuesto referencial PTAR

PTAR Pedro Moncayo			
No.	Rubro / Descripción	Unidad	Precio total
<b>0</b>	<b>Estudios</b>	GBL	\$160.000,00
<b>1</b>	<b>Obra civil</b>		
1.1	Pretratamiento	GBL	\$83.885,04
1.2	Decantación primaria	GBL	\$170.500,30
1.3	Filtros percoladores	GBL	\$180.829,63
1.4	Decantación secundaria	GBL	\$164.501,93
1.5	Espesado y deshidratación de fangos	GBL	\$63.528,89
1.6	Desinfección	GBL	\$86.148,15
1.7	Sala de control y obras varias	GBL	\$523.262,22
1.8	Colector	GBL	\$234.518,52
<b>2</b>	<b>Obra mecánica</b>		
2.1	Pretratamiento	GBL	\$129.957,04
2.2	Decantación primaria	GBL	\$32.488,89
2.3	Filtros percoladores	GBL	\$212.148,15
2.4	Decantación secundaria	GBL	\$32.355,56
2.5	Espesado y deshidratación de fangos	GBL	\$194.562,96
2.6	Desinfección	GBL	\$6.503,70
<b>3</b>	<b>Obra Eléctrica</b>	GBL	\$139.416,30
<b>4</b>	<b>Laboratorio</b>	GBL	\$20.740,74
<b>5</b>	<b>Plan de manejo ambiental</b>	GBL	\$16.192,59
<b>TOTAL</b>			<b>\$2'451.540,59</b>

**Tabla 18. Presupuesto sistema de recarga de acuíferos**

<b>Sistema de recarga y explotación de los acuíferos Mojanda</b>			
<b>No.</b>	<b>Rubro / Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio total</b>
0	Estudios	GBL	\$50.000.00
1	Lagunas de infiltración	GBL	\$100.000.00
2	Construcción de pozos profundos	GBL	\$122.748.00
2	Desinfección de pozos	GBL	\$16.248.00
3	Caseta de bombeo	GBL	\$34.788.00
3	Línea de impulsión	GBL	\$32.904.00
4	Instalaciones eléctricas	GBL	\$117.600.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$474.288.00</b>

Se tomó en cuenta precios unitarios referenciales y estudios contratados en el país para establecer los costos generales para los estudios y construcción de los dos sistemas. En ese sentido, la PTAR con una capacidad de 300 l/s tendría un costo referencial de \$2'451.540.59, mientras que el sistema de recarga y explotación de acuíferos, tomando en cuenta 5 pozos de inyección y 5 pozos de bombeo tendría un costo de \$474.288.00.

En conclusión, y con base en lo expuesto en los párrafos anteriores, este trabajo de titulación ha cumplido con los objetivos planteados. En primer lugar, el Capítulo 1 detalló la situación actual de los servicios de agua potable, saneamiento y riego dentro Cantón Pedro Moncayo; donde se evidenció que existe un déficit del abastecimiento de agua potable del 22% al presente año, con una proyección de 50% al año 2050. En cuando al saneamiento, el cantón Pedro Moncayo no posee una planta de tratamiento de aguas residuales equipada con los tratamientos básicos, adicionalmente, existe una falta de información en cuanto a la descarga y tratamiento de las aguas residuales fuera de la cabecera cantonal, sin embargo, es seguro que estas aguas no poseen el tratamiento adecuado y se están descargando a los cauces naturales, incurriendo en contaminación de los mismos. Finalmente, el sistema de riego no se encuentra operando al 100%, debido a problemas técnicos y sociales, sin embargo, la infraestructura tiene la capacidad para dar servicio a 10.000 usuarios y cubrir un área de aproximadamente 12.000 hectáreas.

En segundo lugar, se ha propuesto una solución para abordar la falta de agua potable en el cantón Pedro Moncayo, mediante el reúso de aguas residuales tratadas para el riego y la recarga de los acuíferos de Mojanda. Esto permitiría reasignar de manera equitativa el caudal de agua destinado al riego para el consumo humano. Esta propuesta plantea conceptos de economía circular del agua, aprovechando el recurso hídrico de manera adicional dentro del ciclo urbano del agua.

## **CAPÍTULO 3: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **3.1 Conclusiones**

- El presente proyecto de titulación hace una propuesta para cubrir el déficit de agua potable en el cantón Pedro Moncayo, haciendo uso de los conceptos de economía circular y economía circular del agua a través de un uso adicional del recurso hídrico dentro del ciclo urbano del agua.
- La propuesta se basa en el reúso de las aguas residuales en riego, a través de su tratamiento y recarga en los acuíferos de Mojanda, y de esta manera reasignar en la misma proporción el caudal de riego concesionado hacia el consumo humano.
- El caudal de oferta del cantón Pedro Moncayo es de 80,5 l/s, lo que representa un déficit de agua potable del 22% y de acuerdo a las proyecciones, podría ascender al 50% para el año 2050.
- Pedro Moncayo no posee una planta de tratamiento de aguas residuales, únicamente estructuras menores que no depuran el agua residual adecuadamente y contaminan las aguas del río Pisque.

- El agua de riego es proporcionada por el canal Cayambe-Pedro Moncayo perteneciente a la prefectura de Pichincha, abastece un caudal de 6,3 m<sup>3</sup>/s proveniente de la laguna de San Marcos con prestación del servicio a 10.000 usuarios y riega aproximadamente 12.000 hectáreas.
- Se debe suscribir un convenio entre el GAD cantonal de Pedro Moncayo y la Prefectura de Pichincha para ceder el caudal de riego en proporción a la que entregará la PTAR producto de las aguas residuales tratadas del cantón.
- El proyecto representa un beneficio económico al mediano y largo plazo, ya que una vez cubierta la deuda de inversión, el cantón incrementará sus ingresos en el sector comercial, productivo y turístico, y con ello, aprovechará el costo de oportunidad.
- El proyecto representa un beneficio ambiental, ya que propone la construcción de una PTAR que evitará la descarga de las aguas negras al río Pisque. De igual manera, la recarga de los acuíferos de Mojanda aportará a la preservación de las áreas y volúmenes de las lagunas.
- El proyecto representa beneficios sociales, ya que reducirá problemas de salud y sanitarios y creará plazas de trabajo en las etapas de construcción y operación.
- El presupuesto presentado se desarrolló a nivel de prefactibilidad, con costos aproximados y contemplando los rubros principales, de acuerdo con un proyecto académico.

### **3.2 Recomendaciones**

- Realizar los estudios de prefactibilidad de las obras, para realizar la evaluación de costo beneficio económico, social y ambiental con datos reales de inversión.
- Incentivar métodos de inversión que involucre economía circular, ya que representan soluciones más eficientes desde el punto de vista económico, social y ambiental.
- Gestionar los convenios marco que posee el país en materia de agua potable y saneamiento, a través de multilaterales e instituciones extranjeras que posee programas con créditos reembolsables y no reembolsables.
- Gestionar por parte de los GADs parroquiales, cantonales y provinciales soluciones referidas a agua potable, saneamiento, gestión de residuos sólidos y fuentes de energía eficientes basados en los principios de economía circular, ya que promueven el triple impacto, es decir, además de obtener beneficios económicos, se obtienen de carácter social y ambiental.
- El costo real del proyecto se podrá obtener en el caso que se elabore los estudios definitivos e ingeniería de detalle.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Aldunate, E., & Córdoba, J. (2011a). *Formulación de programas con la metodología de marco lógico*. CEPAL-Naciones Unidas.
- Aldunate, E., & Córdoba, J. (2011b). *Formulación de programas con la metodología de marco lógico*. CEPAL - Naciones Unidas.
- Arias Ortega, M. del R. (2024). *Decisiones políticas y el poder frente a la hidrología. Análisis del canal de riego Cayambe Pedro Moncayo* [Tesis de posgrado]. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador.
- Berrezueta Valladolid, J. S. (2019). *Evaluación del sistema hidráulico principal del proyecto de riego Tabacundo (Captaciones-Trasvases-regulación-conducción primaria)* [Pregrado]. Universidad Politécnica Salesiana.
- Blog Lucidchart. (2023). *Modelo de cascada en la gestión de proyectos*. <https://www.lucidchart.com/blog/es/metodologia-gestion-proyectos-cascada>
- Brears, R. C. (2020). *Developing the Circular Water Economy*. <http://www.palgrave.com/gp/series/15853>
- Chen, C. (2020, October 15). *Marco de referencia*. <https://www.significados.com/marco-de-referencia/>
- Ciclos Bioquímicos. (2021). *Ciclo Urbano del agua: Importancia, en que consiste y etapas*. <https://ciclosbiogeoquimicos.com/ciclo-urbano-del-agua/>
- CONAMA. (2020). *La recarga gestionada de acuíferos en España*.
- Ellen Macarthur Foundation. (2015). *Towards the Circular Economy*.
- Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito. (2009a). *Normas de diseño de sistemas de agua potable para la EMAAP-Q*.
- Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito. (2009b). *Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMMAP-Q*.
- Empresa Pública Municipal de Agua Potable, A. y S. B. de P. M. (2021). *Reforma a la ordenanza, sustitutiva de estructura tarifaria y cobro de tasas de los servicios que presta la EP EMASA PM*.
- Empresa Pública Municipal de Agua Potable, A. y S. B. de P. M. (2024). *Informe de gestión 2023*.
- FAO. (2023). *Agua*. <https://www.fao.org/water/es/>
- Fundación CONAMA. (2019). *Agua y Economía Circular*.
- GAD Municipal del Cantón Pedro Moncayo. (n.d.). *Cantón Pedro Moncayo*. Retrieved April 27, 2024, from <http://www.pedromoncayo.gob.ec/index.php/canton/historia>
- GAD Municipal Pedro Moncayo. (2021). *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2021-2023*.
- Global Information System on Water and Agriculture-AQUASTAT. (2020). *Water use*.
- Gobierno Provincial de Pichincha. (2022). *Plan de Riego y Drenaje de la provincia de Pichincha 2014-2029*.
- INAMHI. (2015). *Introducción a la hidrogeología del Ecuador*. [www.inamhi.gob.ec](http://www.inamhi.gob.ec)
- Lucid Content Team. (2021). *Agile-Waterfall Hybrid: Is It Right for Your Team?* <https://www.lucidchart.com/blog/is-agile-waterfall-hybrid-right-for-your-team>
- Mankiw, G. N. (2012). *Principios de Economía* (6th ed.). Cengage Learning Editores, S.A. <http://latinoamerica.cengage.comwww.FreeLibros.org>

- Opolenko, V. (2021). Potencialidad de uso de aguas servidas para riego y recarga de acuíferos: cuenca del río La Villa, República de Panamá. *Revista Geográfica de América Central*, 1(68), 269–304. <https://doi.org/10.15359/rgac.68-1.10>
- Organización Mundial de la Salud. (2023). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Ortegón, E., Pacheco, J. F., & Prieto, A. (2005). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. CEPAL - Naciones Unidas. [www.issuu.com/publicacionescepal/stacks](http://www.issuu.com/publicacionescepal/stacks)
- Parlamento Europeo. (2015). *Economía circular: definición, importancia y beneficios*. <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>
- Parodi, E. (2016). *Recarga del acuífero de Lima mediante el uso de aguas residuales tratadas* [Tesis de grado]. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Prefectura de Pichincha. (2021). *Plan Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019-2023 de la Prefectura de Pichincha*.
- Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2023). *Alianzas y cooperación por el agua Resumen ejecutivo*.
- Secretaría del Agua. (1992). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. <https://doi.org/10.07>
- Simon, A. (2018). *La economía circular del agua: dirección obligatoria*.
- Solís, J. (2021). *Informe de consultoría estudio técnico para elaboración del plan tarifario para el servicio de agua potable y alcantarillado de la Empresa Pública EMASA-Pedro Moncayo*.
- Torres, P., & Coello, C. (2008). *Estudios para actualización de la demanda para la determinación del volumen del embalse y altura de la presa de San Marcos, estudios hidrológicos complementarios de las cuencas de los ríos que aportan para el proyecto de riego Cayambe-Tabacundo Tomo I Estudio Hidrológico*.
- Vélez, M. V., & Vásquez, L. M. (2004). Métodos para determinar la recarga en acuíferos. *Avances En Recursos Hidráulicos*.