

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador
Departamento de Asuntos Públicos
Convocatoria 2021-2022

Tesina para obtener el título de especialización en Liderazgo, Cambio Climático y Ciudades

Gestión de aguas residuales como medida de adaptación al cambio climático en Manta,
Ecuador 2015-2021

Julio Salvador Jaramillo Correa

Asesor: Marcela Aguirre Clavijo

Lectora: Diana Paz Gómez

Quito, noviembre de 2022

Dedicatoria

A mi familia quienes me acompañan a cada paso que doy.

Epígrafe

Porque muchos de nuestros sueños fueron reducidos a lo que existe, y lo que existe muchas veces es una pesadilla, ser utópico es la manera más consistente de ser realista en el inicio del siglo XXI.

—Boaventura de Sousa Santos

Tabla de contenido

Resumen.....	VIII
Agradecimientos	IX
Introducción	1
Capítulo 1. Marco Conceptual	5
1.1 Estado del arte sobre el tratamiento y gobernanza del agua residual y el enfoque nexos	5
1.2 La gobernanza y sus dimensiones de aplicación.....	9
1.2.1 Gobernanza del agua.....	12
1.2.2 Gobernanza del agua residual	13
1.2.3 El Nexos entre el agua, la energía y la alimentación.....	14
1.3 Marco metodológico	17
1.3.1 Método	18
1.3.2 Técnica.....	23
1.3.3 Instrumento de recolección de información.....	25
Capítulo 2. Estudio de caso.....	27
2.1 Descripción del modelo de gestión de la Empresa Pública Aguas de Manta.....	27
2.1.1 Características del contexto	27
2.1.2 Aguas residuales	30
2.1.3 Vulnerabilidad en los ríos Burro, Manta y Muerto (EPAM 2021)	41
2.1.4 Impacto del Terremoto del 16 de abril de 2016.....	46
2.1.5 Alianza estratégica entre EPAM y VEOLIA	49
2.1.6 Estructura organizacional de EPAM y funciones	51
2.1.7 Hitos en la gestión de la EPAM en el periodo 2015-2021	53
2.2 Estrategias para mejorar la gestión de las aguas residuales bajo un enfoque de adaptación climática	58
2.2.1 La eficiencia energética y la gestión del agua.....	58
2.2.2 Gestión del agua como energía	60
2.2.3 Gestión sostenible del agua en la industria pesquera	61
2.3 Resultados de la aplicación de la estrategia metodológica al estudio de caso	63
2.3.1 Gobernanza del agua residual en Manta	63
2.3.2 Diagrama de bucle causal	65
Conclusiones.....	70
Lista de abreviaturas	72

Índice de material gráfico

Tablas

Tabla 2.1 Gestión de las administraciones de EPAM.....	52
Tabla 2.2 Oportunidades de mejora de eficiencia energética	59

Figuras

Figura 1.1 Métodos cualitativos y cuantitativos en el enfoque Nexo	20
Figura 1.2 Ejemplo de CLD.....	25
Figura 2.1 Continuidad del abastecimiento de agua por parroquias en el cantón Manta.....	28
Figura 2.2 Captación Caza Lagarto y acueducto La Esperanza.....	30
Figura 2.3 Tabla 8 TULSMA.....	34
Figura 2.4 PTAR El Gavilán.....	35
Figura 2.5 Resultados de análisis de efluente de PTAR	36
Figura 2.6 Descargas clandestinas detectadas en industria de pescado	39
Figura 2.7 Organigrama EPAM asociado a aguas residuales	51
Figura 2.8 Visión general del sistema de gestión de la energía	61
Figura 2.9 CLD Gestión del agua y el nexos con la energía	66
Figura 2.10 Mejoras propuestas a la gestión del Nexo	67

Fotos

Foto 2.1 Inundaciones por colapso de colectores por fuertes lluvias en Tarqui y Los Esteros.....	32
Foto 2.2 Descarga de efluentes ilegales.....	40
Foto 2.3 Estrangulamiento de cauce debido a asentamientos	42
Foto 2.4 Sedimentación, desechos en cauces y vegetación	45
Foto 2.5 Daños en la tubería hacia PTAP Ceibal.....	46
Foto 2.6 Daños en el acueducto Santa Martha.....	47
Foto 2.7 Daño en el acueducto Colorado - Santa Marta	48
Foto 2.8 Daños en piscinas de estabilización.....	49
Foto 2.9 Estación de bombeo Umiña.....	55
Foto 2.10 Limpieza del cauce del río Manta.....	56

Mapas

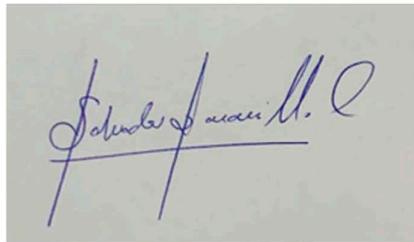
Mapa 2.1 Sistema de alcantarillado Manta	38
Mapa 2.2 Ríos de Manta estacionales.....	43

Declaración de cesión de derecho de publicación de la tesis

Yo, Julio Salvador Jaramillo Correa, autor de la tesina titulada “Gestión de aguas residuales como medida de adaptación al cambio climático: Manta, provincia de Manabí, Ecuador 2015-2021” declaro que la obra es de mi exclusiva autoría, que la he elaborado para obtener el título de especialización, concedido por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador.

Cedo a la FLACSO Ecuador los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, bajo la licencia Creative Commons 3.0 Ecuador (CC BY-NC-ND 3.0 EC), para que esta universidad la publique en su repositorio institucional, siempre y cuando el objetivo no sea obtener un beneficio económico.

Quito, noviembre de 2022

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink. The signature is cursive and appears to read 'Julio Salvador Jaramillo Correa'. Below the signature is a horizontal line.

Salvador Jaramillo

Resumen

La contribución de la gestión de las aguas residuales para la adaptación al cambio climático en la ciudad de Manta se ha mostrado favorable durante el periodo 2015 a 2021. A través de la incorporación de medidas como la construcción de infraestructura, así como del control de los efluentes industriales se ha logrado reducir los reboses de aguas residuales hacia el perfil costero y la contaminación ambiental.

En este trabajo se hace una descripción del modelo de gestión de la Empresa Pública Aguas de Manta (EPAM) encargada de la competencia del agua potable y saneamiento de Manta durante el periodo antes mencionado. Se analiza la asociación estratégica con la compañía VEOLIA, los impactos que tuvo el terremoto el 16 de abril de 2016, así como las medidas tomadas en respuesta a este acontecimiento.

El enfoque utilizado para el análisis es el enfoque Nexo entre el agua y la energía que permite determinar las interrelaciones existentes entre ambos sectores, y cómo las medidas tomadas sobre uno de ellos inciden en el otro. La metodología adoptada para la determinación de estas interrelaciones son los Sistemas Dinámicos, donde a través de un diagrama de bucles se hace un mapeo de las variables que intervienen en el sistema de gestión del recurso hídrico en Manta y cómo estas inciden en las demás, así como el nexo con el consumo energético en el proceso.

Finalmente, se hace un estudio de estrategias que permitan mejorar la gestión de las aguas residuales donde se hace referencia tanto a la eficiencia energética, regulación y control y la construcción de infraestructura. En el caso de la primera, la contribución de esta sirve para aliviar el estrés energético del sistema y se propone la incorporación de la ISO 50001 dentro de la cultura organizacional de la EPAM. Además, la generación de políticas multi sectoriales multi nivel que permitan a las partes interesadas ser parte de la toma decisiones y el refuerzo de las medidas de control a la descarga de efluentes por parte del sector industrial.

Agradecimientos

A la Empresa Pública Aguas de Manta (EPAM) por la información facilitada. Al personal administrativo y académico de FLACSO Ecuador por su constante apoyo. A mi tutora de tesina Marcela Aguirre, por su bondad y paciencia durante la preparación de este trabajo. A Pamela por su conocimiento integral y soporte en la realización de esta tesina.

Introducción

El presente trabajo de titulación se realiza en el marco de la Especialización Liderazgo, Cambio Climático y Ciudades 2021-2022. La investigación que se desarrolla es de tipo descriptivo, su meta es determinar el nivel de contribución del modelo de gestión de aguas residuales en Manta y cómo esta ha contribuido a la adaptación al cambio climático. De esta forma, se pretende identificar y describir cuáles son los diversos factores de importancia para el caso de estudio. A continuación, se presenta la justificación y los propósitos de investigación.

Las emisiones de metano (CH_4) se pueden evidenciar durante todo el proceso de manejo de aguas residuales, desde el transporte, el tratamiento y su concentración en las piscinas de oxidación y/o estabilización. Las emisiones de metano continúan existiendo aún después de que estas piscinas se han cerrado. Asimismo, una de las principales fuentes de óxido nitroso también lo constituyen las aguas residuales.

Tanto el CH_4 como el óxido nitroso (N_2O) son gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen con el calentamiento global en la atmósfera y por ende con el cambio climático. Se estima que desde 1990 las emisiones de metano provenientes de sistemas residuales han crecido en un 50 %, mientras que las emisiones de N_2O en un 25 %. Además, en los países en vías de desarrollo debido al crecimiento de la población, los procesos de urbanización se han dado sin que la adecuada capacidad de tratamiento de aguas residuales crezca a la par. Como resultado, las emisiones desde el sector de aguas residuales en estos países son mayores que en países desarrollados. Asimismo, existen emisiones de GEI que no son estimadas como las que provienen de tanques sépticos, letrinas y descargas no controladas (IPCC 2008).

Por su parte, la combinación del crecimiento de las ciudades, el cambio climático y el mantenimiento deficiente de los sistemas de agua potable y aguas residuales podrían ocasionar inundaciones, escasez de agua, contaminación, problemas de salud y costos elevados en rehabilitación, lo que podría afectar la resiliencia de las ciudades (S. H. A. Koop 2016).

Las tendencias de desarrollo económico, urbanización y crecimiento poblacional elevan la demanda sobre agua dulce a nivel global. La incertidumbre sobre las condiciones futuras, en especial las surgidas a raíz del cambio climático, ejercen presión por lo que surge la necesidad urgente de adelantar esfuerzos tanto para la mitigación como adaptación al cambio climático. Además, el aumento del consumo de agua en función de la mejora de la calidad de vida converge con el deterioro del medio ambiente.

Asimismo, se debe generar conciencia y empezar a cuantificar los resultados sobre las estrategias de acción y lo que acarrea también la inacción y pasividad. De esta forma, una de las estrategias para hacer frente al cambio climático es la reutilización de aguas residuales y la eficiencia energética durante todo el proceso de disposición y tratamiento de aguas residuales. Esta estrategia podría contribuir a mitigar la escasez de agua en algunas regiones y llegar a constituirse como fuente de suministro (Reznik, Jiang y Dinar 2020). Es decir, la recuperación y reutilización de aguas residuales puede convertirse en una solución ante la inseguridad del abastecimiento de agua y conservación de fuentes de agua dulce, incrementado la eficiencia en su utilización.

Los sistemas de aguas residuales, o más conocidos en Ecuador como aguas servidas (AASS), brindan un servicio esencial a las comunidades en todo el país. El impulso de estos sistemas ha dado como resultado importantes mejoras en salud pública, reducción de mortalidad, brotes de enfermedades y reducciones significativas de contaminación ambiental (Hughes, y otros 2020).

La recuperación de aguas residuales conlleva al tratamiento que requieren las aguas lluvias, aguas residuales industriales y municipales para su reúso. Sin embargo, este proceso y la infraestructura asociada a esta pueden también sufrir los efectos del cambio climático. Estos efectos pueden ser directos y afectar al rendimiento tecnológico del proceso de recuperación y a la infraestructura; e indirectos cuyos efectos recaerían sobre el manejo del proceso y su operatividad (Phuong Tram VO 2014).

Por lo que, la gobernanza local juega un papel muy importante ya que permitirá determinar los aspectos del contexto físico, cultural e institucional sobre cómo los involucrados interactúan, qué acciones pueden tomar, sus costos, los resultados y en qué forma las acciones a tomarse están ligadas a los resultados, qué información se encuentra disponible, y

cuánto control pueden ejercer los involucrados en el proceso. Una vez identificado todo lo antes mencionado se podrá tener una mejor perspectiva sobre los problemas que los involucrados encaran (Pacheco 2014). De igual forma, debe fortalecerse la interacción entre adaptación al cambio climático y los instrumentos de planificación ya que esto los convertirá en deseable y factibles (David Genelatti 2015).

En la ciudad de Manta, provincia de Manabí en el Ecuador, las aguas residuales son tratadas en la actualidad mediante metodología de lagunas de estabilización, cuyo proceso culmina con la disposición a través del mecanismo de descarga hacia el cauce del río Manta. Este es considerado como río estacional ya que sólo cuenta con caudal en época invernal con lluvias copiosas. Por otra parte, en época de estiaje se evidencia la descarga de las lagunas de oxidación con la presencia de flujo en el cauce, donde, además, se incorporan las descargas ilegales provenientes de las viviendas asentadas en la rivera. Además, las condiciones hidráulicas en el flujo de estas aguas producen malos olores, haciendo el problema más sensible frente a la salud humana.

Las condiciones descritas respecto al río Manta, no contribuyen bajo ningún concepto en alcanzar el objetivo de asegurar la adecuada dilución de la carga contaminante y la carga orgánica contenida en los efluentes, según lo dispone la norma ambiental vigente, así como la combinación de efluentes que llegan al proceso lagunar, en donde se mezclan aguas residuales domésticas e industriales, generando que el proceso de depuración sea más complejo.

Otro factor que fundamenta la desventaja en el proceso de recolección de las aguas residuales dentro del perímetro urbano es que este se realiza de norte a sur de la ciudad, con el aprovechamiento de la gravedad, para luego bombearse de sur a norte, en donde están actualmente las lagunas de oxidación, generando un esfuerzo energético superior en la operación.

Por estas razones es necesario el estudio de los factores que inciden en la gestión de las aguas residuales de Manta, así como el estudio de medidas que coadyuven a la situación actual bajo una perspectiva de adaptación al cambio climático en un contexto urbano. Con estos antecedentes la pregunta de investigación es: ¿De qué manera la gestión de aguas residuales en la ciudad de Manta contribuye a la adaptación al cambio climático en el periodo 2015-

2021? El objetivo general es determinar el nivel de contribución del modelo de gestión de aguas residuales a la adaptación del cambio climático ciudad de Manta en el periodo 2015-2021. Mientras los objetivos específicos son:

1. Describir el modelo de gestión de aguas residuales de la ciudad de Manta.
2. Sintetizar estrategias para una mejor gestión del recurso hídrico bajo un enfoque de adaptación climática.

El texto está distribuido de la siguiente manera. En el primer capítulo se expone los conceptos de la teoría de la gobernanza y a la categoría nexo agua-energía-alimentos que servirán como el marco teórico-conceptual para el desarrollo de esta tesina. En el capítulo dos se pone en contexto a esta investigación dentro de la ciudad de Manta y se hace una descripción de su sistema de agua residual. Además, se realiza un análisis de bibliografía para recoger qué prácticas de la gestión de aguas residuales pueden implementarse en la ciudad en estudio y se presenta un modelo de diagrama de bucles para la representación del nexo agua energía. Se cierra con las conclusiones del estudio.

Capítulo 1. Marco Conceptual

En este capítulo se da cuenta del estado del arte sobre el agua, saneamiento e higiene, el marco teórico-conceptual con atención a la teoría de la gobernanza y a la categoría nexo agua-energía, y se cierra con el marco metodológico indicando los alcances del método, técnica e instrumentos de colección de información.

1.1 Estado del arte sobre el tratamiento y gobernanza del agua residual y el enfoque nexo

La comunidad global está en búsqueda de nuevos enfoques para la adaptación al cambio climático tal es el caso de la visión integrada de la seguridad hídrica, energética y de alimentos. Por su parte, el agua residual tratada tiene el potencial de convertirse en una solución factible para abastecer usos de agua no potable y de esta forma evitar la escasez de agua. Sin embargo, se vuelve necesario comprender cuáles son los consumos energéticos asociados y sus respectivas emisiones de dióxido de carbono (CO₂). En el estudio de Santos et al. (2021) (Santos, y otros 2021) se presenta un análisis comparativo del nexo agua-energía asociado al suministro tradicional de agua y las alternativas de reúso de agua residual tratada, ambos para usos donde no se requiere que esta sea potable.

En el artículo de Araujo, Oliveira y Sahin (2019) (Araujo, Oliveira y Sahin 2019) se hace referencia a estudios que han usado la metodología de Sistemas Dinámicos para la gestión del agua entre los cuales se ha analizado modelos: a) para evaluar la escasez de agua y los posibles impactos de políticas socioeconómicas en un sistema hidrológico complejo; b) para capturar las interrelaciones entre la disponibilidad del agua y el crecimiento de la demanda debido al crecimiento del sector industrial y el consumo doméstico; c) para investigar la influencia del cambio climático en los niveles de disponibilidad del agua; d) para evaluar modelos de gestión urbana y la disponibilidad de agua en el futuro. Como se aprecia, los sistemas dinámicos han servido para la modelación de sistemas complejos interconectados de agua urbana y la determinación del comportamiento de un sistema.

En Purwanto et al. (2019) (A. Purwanto, J. Susnik y F. Suryadi, y otros 2019) se señala que existe la brecha dentro de la investigación de metodologías no computacionales que permitan entender mejor el nexo agua energía y alimentos de una forma robusta para que pueda ser fácilmente interpretada por los tomadores de decisión. Este enfoque será de mucha ayuda en lugares donde no exista suficientes datos o como un primer paso antes de un estudio más profundo de tipo cuantitativo. El desarrollo de un sistema dinámico a través de un diagrama de bucles donde se represente al enfoque Nexo, puede resaltar las complejidades así como las interrelaciones entre los sectores que lo componen.

Rasul y Sharma (2015) (Rasul y Sharma 2015) analizan cómo el enfoque Agua-Energía-Alimentos puede ser una opción de adaptación al cambio climático. En los países en desarrollo donde gran parte de la población depende de actividades sensibles al clima como la agricultura y pesca, y que viven en regiones vulnerables como zonas montañosas o costeras, la adaptación al cambio climático se vuelve crítica. Por otra parte, aunque el interés por la adaptación al cambio climático y sus consecuencias haya ido creciendo en los últimos tiempos, el enfoque ha sido sectorial, lo que puede llevar a un incremento en la vulnerabilidad y debilitar la capacidad neta de resiliencia en otras áreas lo que resultaría en una inadecuada adaptación. La falta del análisis en conjunto de los sectores agua, energía y alimentos ha ocasionado que se generen incluso estrategias contradictorias derivando en un uso ineficiente de los recursos naturales (Rasul y Sharma 2015).

En este artículo, además, se menciona la evolución de los procesos de adaptación al cambio climático, que ha pasado de estrategias basadas en la infraestructura gris hacia enfoques orientados hacia el desarrollo sostenible, integrando las llamadas infraestructuras verde y azul. Esta concepción anima a la construcción de una resiliencia más amplia frente las consecuencias del cambio climático, dirigiéndose más hacia las causas detonantes de la vulnerabilidad en lugar de simplemente responder a los síntomas. Una de las interfaces importantes del enfoque Nexo es la relación del agua con la energía y los alimentos. Destacándose al agua como fundamental en la producción energética y de alimentos, así como en el mantenimiento de los ecosistemas que sustentan a la agricultura y otras actividades económicas que son críticas para la consecución de la seguridad alimentaria (Rasul y Sharma 2015).

En el artículo de Anda y Shear (2021)(Anda y Shear 2021) se hace notar que uno de los factores que impide la disponibilidad de agua fresca está asociado con el desarrollo socio económico y el cambio climático, la falta de infraestructura de saneamiento, falta de cumplimiento de normativas ambientales, políticas públicas limitadas que orienten el uso del agua residual y su tratamiento; pues todo esto deriva en la contaminación del agua y disminuye su disponibilidad. En este artículo además se considera al desarrollo sostenible y se reconoce que sus dimensiones son la ecológica, social y la económica. En adición a estas, menciona que se pueden añadir cuatro dimensiones más: la moral, la legal, la técnica y la política. Pero aclaran que, para proyectos de tratamiento de agua existen otras cinco dimensiones adicionales que afectan a su desarrollo sostenible: respeto sociocultural, participación de la comunidad, cohesión política, sostenibilidad económica y ambiental. Sugiriendo que, cuando se aplican estos factores en el ciclo de vida de los proyectos se puede alcanzar un diseño e implementación pertinentes a cada territorio.

Los autores señalan que la falta de infraestructura para las aguas lluvias y las aguas residuales, hacen que ambas terminen su ciclo en los sistemas de alcantarillado. Agregan que, durante las épocas de fuertes lluvias, las plantas para su procesamiento sobrepasan su capacidad de soportar importantes volúmenes de agua, por cuanto, durante esta época los cuerpos de agua están contaminados. Aparte, la infraestructura para el tratamiento de agua residual necesita el uso intensivo de energía. Los cortes de agua son más comunes y las autoridades se reusan a la instalación de medidores de agua residual por la afección en los votos, por ello, el cobro del agua residual es una fracción del pago de consumo de agua potable. Entre las soluciones a estos problemas señalan que se deben fortalecer las decisiones a nivel de los gobiernos locales y contar con el apoyo de los gobiernos nacionales para subsidiar la construcción, operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de agua residual municipal (Anda y Shear 2021).

A su vez, la gobernanza del agua tiende a centrarse en el abastecimiento, demanda y distribución del recurso, dejando de lado al agua, saneamiento e higiene de aguas residuales. Entre las limitantes para el acceso al saneamiento se mencionan restricciones presupuestarias, disparidad de ingreso, heterogeneidad de la población y falta de decisión política. Según Pacheco-Vega (2015)(Pacheco-Vega 2015) una medición cuantitativa de la infraestructura de saneamiento no es un reflejo real de que la población pueda acceder al saneamiento.

Pacheco-Vega (2015), hace mención que la investigación en el área de las ciencias sociales relacionada a las aguas residuales se ha direccionado a la implementación de tecnologías en sanitarios, el acceso a alcantarillado y el desarrollo de infraestructura. Mientras en el ámbito de la gobernanza de las aguas residuales se han desarrollado investigaciones empíricas en países en desarrollo, principalmente en la India donde se ha prestado especial atención al acceso a tecnologías para inodoros y como al evitar la defecación al aire libre. Sin embargo, señala que la gobernanza en este ámbito no puede reducirse exclusivamente a asuntos tecnocráticos, sino que es necesario comprender a los componentes humanos inmersos en esta.

Añade el autor que la dotación de agua y el tratamiento de aguas residuales constituyen problemas no sólo ambientales, sino que también económicos y sociales; donde se ha pasado de una concepción del agua como recurso natural a ser un recurso político, fundamentalmente el agua en su forma más pura y la gestión de las cuencas, por ejemplo. La perspectiva del agua como un recurso político se sustenta en la implementación de las políticas públicas con un claro favorecimiento hacia sectores de más altos ingresos de la sociedad para que sean estos quienes tengan garantizado el acceso al agua, saneamiento e higiene.

Pacheco-Vega concluye que, para mantener un sistema de saneamiento robusto, las soluciones de política pública que se brinden no sólo deben estar enfocadas en aumentar los niveles de tratamiento de efluentes y el despliegue de infraestructura, sino más bien en considerar prácticas culturales ciudadanas, acceso a financiamiento, expectativas sociales, percepciones sobre el tratamiento de efluentes, capital humano para el diseño e implementación de los sistemas. Afirma, por tanto, que para la consecución de una mejor gobernanza se deberá primero comprender los factores contextuales y los mecanismos causales de lo que ha dado resultados y de lo que no ha funcionado.

Finalmente, en la tesina Argüello (2020)(Argüello 2020) se hace un análisis sobre el rol de la gobernanza en la gestión de recursos hídricos a nivel de cuenca usando el enfoque Nexo. Este método permite elaborar un análisis diferenciado de forma cualitativa en términos de gobernanza y cuantitativa en términos de oferta y demanda de recursos (agua-energía-alimentos). La aplicación del enfoque Nexo ayudó a determinar las interacciones intersectoriales y la vinculación con los actores. La autora asevera que el sobreuso por parte de uno de los actores conlleva al riesgo en el abastecimiento de otro, por ello, la necesidad de

actuar de manera coordinada. Este estudio versó únicamente sobre el análisis cualitativo de la gobernanza y sugiere que para futuros estudios se podría realizar un estudio cuantitativo para obtener información sobre aspectos adicionales que puedan ser de utilidad a las partes interesadas.

De los artículos y tesinas estudiados, se puede determinar que el enfoque Nexo entre el agua y la energía es de mucha utilidad para comprender las interrelaciones entre los sectores económicos. Además, la metodología de Sistemas Dinámicos puede contribuir al análisis de los efectos de las acciones sobre las variables de los sistemas, así como los procesos de retroalimentación dentro del sistema. En función a la información relevada, esta tesina presenta un modelo de sistemas dinámicos bajo el enfoque Nexo para analizar la gestión de las aguas residuales en Manta durante el periodo 2015 a 2021, y presenta propuestas que contribuyen a la mejora de la gestión desde una perspectiva de gobernanza y eficiencia energética. Se puntualiza que el alcance de este documento es de tipo monográfico por lo que es una primera aproximación con fines exploratorios.

1.2 La gobernanza y sus dimensiones de aplicación

En esta sección se elabora el marco conceptual partiendo desde la gobernanza de forma general, siguiendo con la conceptualización de gobernanza urbana, gobernanza climática, gobernanza del agua y gobernanza del agua residual.

La gobernanza es la coordinación de los actores sociales. En este marco, la gobernabilidad del sector público se fortalece con el aporte de redes de diversos actores involucrados en el tratamiento de un asunto público (Harris, Reveco y Guerra 2016). La gobernanza constituye un enfoque postgubernamental, donde ya no solo existe la acción directiva del gobierno, sino de la cual también forman parte otros actores. Es una nueva relación entre gobierno y sociedad, pasando de una relación de mando y control hacia una de cooperación debido a la independencia política de los otros actores y la fuerza que ejercen a través de sus recursos. Sin embargo, no puede existir una dirección o conducción de la sociedad sin la existencia de un gobierno capaz y efectivo para dirigir a los distintos actores hacia objetivos colectivos, mas no a la imposición de intereses de determinados sectores (Aguilar 2007).

Al mencionar que la gobernabilidad se fortalece, se debe entender a esta como la capacidad de gobernar un sistema que cambia constantemente en respuesta a factores internos y externos. Donde, los sistemas sociales a ser gobernados están caracterizados por ser complejos, diversos y dinámicos. La complejidad es un indicador de la arquitectura de las relaciones dentro de los componentes de un sistema. La diversidad es una característica del sistema que señala en qué grado se diferencian los componentes del sistema y su naturaleza. La dinámica en cambio son las relaciones, sinergias, materiales e información entre y dentro de los sistemas. Es importante entonces conceptualizar el sistema a ser gobernado de tal forma que sus características principales puedan servir como la base operacional para evaluar su contribución a la gobernabilidad (Kooiman et al. 2008)(Kooiman, y otros 2008).

Lo que se busca entonces es establecer un sentido de dirección acordado que pueda incluso ser aceptado por quienes están en contra y buscar la consecución de objetivos colectivos sobre los individuales (Peters 2007). Sin embargo, nuevas formas de administración pública como la Nueva Gestión Pública donde se busca que el sector público se comporte como el sector privado en aras de mejorar la eficiencia y efectividad de los gobiernos, han pretendido gobernar fuera del centro a través de procesos de desconcentración (creación de nuevas organizaciones autónomas, con el fin de que personas con experticia en administración pública mejoren la calidad de los servicios donde se dote a gobiernos locales de competencias, deberes o funciones); descentralización (delegación de responsabilidades a gobiernos subnacionales, precepto de que unidades más pequeñas proveerán mejores servicios); y delegación (delegación a actores del mercado, como ejemplo a contratistas, redes y organizaciones sin fines de lucro, uso de redes para mejorar el elemento democrático del gobernar). Lo que, si bien ha impactado en mejoras administrativas, también confronta problemas de incoherencia y baja coordinación; pues no se logra identificar con claridad a los responsables tras las decisiones (Peters 2009).

Dentro de un contexto latinoamericano, mediante la gobernanza, es decir con la participación de otros actores aparte del gobierno central, se pretende resolver las crisis de sustento y baja gobernabilidad. Es necesario caminar en esta dirección: alejarse de planificaciones estándar de buena gobernanza y más bien promover la creatividad y originalidad en contextos sociales concretos; alejarse de la tecnificación institucional e ir hacia diálogos abiertos sobre las necesidades de cambio de instituciones específicas y programas; alejarse de la tendencia de

marcar líneas divisorias irreales entre el Estado y la sociedad civil, y más bien, promover el fortalecimiento de la esfera pública y gratificar las contribuciones al bien común. Todo esto se podría considerar como un nuevo proceso de desarrollo dentro del discurso de la ciudadanía (Hewitt 1998).

En la gobernanza urbana, por su parte, se procura la búsqueda y consecución de objetivos colectivos a nivel local, donde las fronteras entre el sector privado y público van desapareciendo entre las cuales la administración de contingencias se constituye como el reto primordial de la gobernanza local. Su propósito es el de poder guiar y coordinar a la comunidad bajo la premisa de “poder para” y no “poder sobre” (Peters y Pierre 2012). La gobernanza urbana puede constituirse entonces en el medio principal para gobernar el cambio climático, donde los distintos actores que participan pueden demostrar innovación en la implementación de ideas a escala local, donde se puedan reconocer las vulnerabilidades de las ciudades y en conjunto con el gobierno local tomar las decisiones que corresponda de forma organizada y colectiva para tratar al clima como un recurso de uso común (Avendaño, Luna y Rueda 2021).

La gobernanza climática, en complemento, es el cúmulo de medidas y mecanismos enfocados a guiar el sistema social hacia la mitigación, adaptación y resiliencia al riesgo de desastres que trae consigo el cambio climático. Es decir, la gobernanza climática es un modo de gobernanza adaptativa donde su desafío principal es el de incorporar incertidumbre en el sistema y reforzar la capacidad adaptativa para superarla (Harris, Reveco y Guerra 2016). No obstante, amplios sectores de la sociedad vienen discutiendo que la adaptación al cambio climático no es sino una forma de injusticia social a nivel global, debido a la desproporción de sus efectos donde los ciudadanos de países más desarrollados, que son los lugares más contaminantes se ven protegidos por los recursos económicos que tienen; mientras que, en los países en desarrollo están los grupos más vulnerables del planeta (Barton 2008).

La interrelación entre la autoridad, sectores económicos y residentes urbanos pueden afectar o favorecer la consecución de objetivos colectivos, no obstante, existen relaciones espaciales que pueden reforzar la injusticia, donde los intereses de uno de los actores se superponen al otro, yendo en contra del derecho a participar en la creación y construcción de la ciudad de los otros. Por esto, se requiere una planificación justa y democrática de la ciudad y las políticas urbanas que regirán su comportamiento, relaciones y recursos. La justicia como

norma política urbana representa entonces una reacción en contra de las exclusiones y desigualdades provenientes de políticas públicas con enfoque neoliberal, donde lo que importante es atender a las necesidades críticas de la sociedad, no solo la recaudación. A nivel urbano se trata de democratizar los servicios de la ciudad y ponerlos al servicio de toda la ciudadanía (Fainstein 2012).

1.2.1 Gobernanza del agua

Existe un consenso general entre la comunidad internacional donde los problemas relacionados al agua y al saneamiento pueden verse como problemas de gobernanza. Aunque la cantidad de agua potable fuese suficiente para atender la demanda, así como las soluciones técnicas sean bien conocidas, sigue existiendo desigualdad, falta de acceso y mala gestión de estos servicios, que constituye un derecho universal, lo cual conlleva a pensar que el desafío es la gestión para la implementación de soluciones (Flores, Özerol y Bressers 2017).

Por otra parte, el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS6) “Agua Limpia y Saneamiento” declarado por la ONU dentro de la Agenda 2030, requiere que sean articulados de forma integral, práctica y eficiente las acciones sobre el agua potable, el saneamiento y la higiene de acuerdo con los contextos específicos de cada región. Por ello, la gobernanza del agua se constituye como el marco conceptual que permitirá la integración de las acciones arriba propuestas dentro de políticas públicas coherentes y con la participación de los distintos actores involucrados (Fernández-Vargas 2020).

La gobernanza del agua comprende la capacidad de diseñar políticas públicas y marcos institucionales que sean socialmente aceptados y que movilicen recursos en su apoyo. La política del agua y su planificación deben considerar como objetivos al desarrollo sostenible de los recursos hídricos, y para hacer efectiva su implementación, se debe considerar a los actores interesados críticos dentro del proceso decisional. Los aspectos de la gobernanza se superponen a los aspectos técnicos y económicos del agua, ya que esta nos muestra los elementos políticos y administrativos para resolver un problema y/o aprovechar una oportunidad (Rogers y Hall 2003).

Por otra parte, en Castro, Vélez y Madrigal (2019) (Castro, Vélez y Madrigal 2019) se define a la gobernanza del agua como un proceso social y dinámico de integración de conocimientos para la toma de decisiones políticas donde se gestiona equitativamente los recursos hídricos a fin de garantizar el derecho humano al agua potable y al saneamiento. Considerando el acceso al agua y saneamiento como un derecho se debe garantizar también a la participación social en la toma de decisiones como un derecho.

1.2.2 Gobernanza del agua residual

Existen factores tales como la heterogeneidad de la población, déficits presupuestarios y falta de voluntad política que afectan con gravedad el acceso de la población a los servicios de saneamiento. Además, la cuantificación de la infraestructura de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales no es garantía de que toda la población pueda acceder adecuadamente a este servicio. En general, los análisis de gobernanza del agua suelen estar enfocados en las etapas de abastecimiento, demanda y distribución, mas no en el saneamiento y aguas residuales (Pacheco-Vega 2015).

Es por lo que, para el diseño de los procesos de gobernanza de agua residual se debe tener en cuenta: prácticas culturales, normativas, mecanismos de financiamiento y expectativas sociales sobre cómo debería ser un nivel adecuado de tratamiento de aguas residuales. Además de considerar a los sesgos y percepciones sobre el tratamiento de efluentes y las capacidades del capital humano para diseñar e implementar estos procesos. Se trata de entonces de ver más allá de los enfoques tecnocráticos y volver la vista hacia los componentes humanos que se encuentran inmersos en la gobernanza de las aguas residuales (Pacheco-Vega 2015).

La gestión de las aguas residuales es parte un conjunto más amplio de servicios urbanos, esta debe planificarse de forma integral. Es decir, no se puede dotar de agua potable en una zona donde no exista infraestructura disponible para las aguas residuales. La planificación integral requiere entonces no solo de consideraciones técnicas y de costos asociados, sino también de sustento institucional y sectorial que sea relevante en los distintos contextos (UNEP/WHO/HABITAT/WSSCC 2004). Una gestión deficiente causada por lo general por un marco institucional débil que no brinda apoyo hace que la cobertura del servicio

disminuya a medida que los sistemas de infraestructura se deterioran. Por tanto, el fortalecimiento institucional puede convertirse en una forma más eficiente de generar un crecimiento sostenido en los servicios de saneamiento y aguas residuales en comparación con la sola construcción de infraestructura (Kjellén 2018).

1.2.3 El Nexo entre el agua, la energía y la alimentación

Dentro de la búsqueda de nuevas soluciones y enfoques para la adaptación al cambio climático y los retos que este plantea al desarrollo de las comunidades, se plantea agrupar al agua, la energía y los alimentos como un todo para el diseño de medidas. El nexo entre el agua, la energía y los alimentos es propuesto como una solución de gobernanza a los retos complejos de gestión de recursos, para entender las interacciones e interrelaciones entre estos elementos. De tal forma que el análisis en conjunto permita lograr coherencia dentro de las políticas a ser implementadas además de asegurar la seguridad hídrica, energética y de alimentos. El objetivo primordial entonces de la gobernanza del enfoque Nexo es determinar las condiciones bajo las cuales se da una coordinación exitosa entre los elementos del Nexo, así como las interrelaciones de las decisiones y acciones tomadas sobre el sistema (Srigiri y Dombrowsky 2021). Para esta tesina es de interés la gobernanza del Nexo agua, agua residual y energía.

La adaptación al cambio climático es una prioridad global además de ser crítica para los países en vías de desarrollo, donde gran cantidad de la población depende de sectores sensibles al clima como la agricultura, ganadería y pesca, pero tienen poca capacidad de adaptación y viven en zonas muy vulnerables como laderas o zonas costeras. El propósito de la adaptación es el de reducir vulnerabilidad tanto a cambios relacionados o no con el clima, por ello se relaciona con lograr la gestión sostenible del agua, energía y alimentos los que son vitales para alcanzar el desarrollo sostenible (Rasul y Sharma 2015).

A pesar de que el interés en el cambio climático ha ido creciendo en los últimos años, la concentración de las medidas ha sido por lo general sectorial. Las medidas sectoriales pueden reducir o incluso debilitar la resiliencia neta reduciendo la capacidad o incrementando los riesgos en otro sector, lo que resulta en una adaptación restringida. El criterio sobre la

adaptación y la planificación que únicamente consiste en el desarrollo de infraestructura ha transitado hacia un enfoque más orientado en la construcción de una resiliencia más amplia, donde se abordan las causas subyacentes a la vulnerabilidad (pobreza, desigualdad de género y social, así como otros factores estructurales que impiden el desarrollo sostenible) en lugar únicamente dar respuestas reactivas (Embid y Martín 2017).

El agua, la energía y los alimentos son críticos para la supervivencia del ser humano y la sostenibilidad del buen vivir. Todos ellos son susceptibles a un rápido incremento de demanda, además de sufrir limitaciones en su disponibilidad, donde millones de personas sufren la falta de acceso a estos. No considerar la vinculación entre estas tres aristas en las evaluaciones de los recursos y la elaboración de políticas puede conllevar a estrategias contradictorias y el uso ineficiente de los recursos (Rasul y Sharma 2015).

El enfoque Nexo brinda un marco para abordar la competencia sobre los recursos y mejorar la eficiencia en el uso de estos. Los objetivos y principios del enfoque Nexo se encuentran estrechamente vinculados a la visión de la adaptación al cambio climático. La gestión del agua, la energía y los alimentos tienen impacto sobre la adaptación; y las estrategias y políticas con el propósito de mitigar y adaptarse al cambio climático tienen implicaciones significativas para el resto de los elementos del enfoque Nexo. Es decir, mejorando la forma de gestionar los recursos resultará que los desafíos de la adaptación al cambio climático se vuelven más manejables y que, por tanto, las ciudades, países, regiones generen las capacidades de adaptación y reducir así las vulnerabilidades al cambio climático (Rasul y Sharma 2015).

La integración dentro de la planificación de los sectores agua, energía y alimentos desde el enfoque Nexo se lo puede definir como un proceso de planificación del desarrollo donde a nivel regional se lo ha caracterizado como un acto político, una teoría y corriente para la creación de pertenencia de futuro y como parte de la gobernanza multiescala e intersectorial (Embid y Martín 2017). La comprensión del enfoque Nexo puede coadyuvar a lograr la seguridad hídrica, además de la energética y la alimentaria. La seguridad hídrica comprende el acceso al agua potable y saneamiento, constituido como un derecho humano. La seguridad energética comprende el acceso a los servicios energéticos limpios, fiables y asequibles. La seguridad alimentaria donde todas las personas tienen acceso físico, social y económico a una suficiente cantidad de alimentos (Embid y Martín 2017).

Entre las principales características del enfoque Nexo se pueden mencionar (Rasul y Sharma 2015):

- Comprender la interdependencia entre los subsistemas dentro de un sistema a través del tiempo y espacio, concentrándose en la eficiencia de este en lugar de la productividad individual, donde se provea soluciones integrales que contribuyan a los objetivos de políticas para el agua, energía y alimentos.
- Reconocer la interdependencia entre el agua, energía y alimentos y promover la toma de decisiones racionales y uso eficiente de los recursos de una manera sostenible.
- Identificar soluciones de política integradas para minimizar las compensaciones y maximizar las sinergias entre los distintos sectores, promoviendo respuestas mutuamente beneficiosas que favorezcan el potencial de cooperación entre los sectores, así como alianzas público-privadas en los distintos niveles.
- Asegurar coherencia en el desarrollo de las políticas y coordinación entre los sectores y partes interesadas para construir sinergias y generar cobeneficios de forma eficiente y contribuir a la sostenibilidad a largo plazo.
- Valorar el capital natural de los ecosistemas y alentar a los negocios para apoyar la transición hacia la sostenibilidad.

Durante un espacio de intercambio en línea modalidad webinar como parte del curso de Sistemas de Infraestructura Sostenibles: Planificación y Operación impartido el año 2022, el autor tuvo la oportunidad de preguntar a la Dra. Afreen Siddiqui del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) sobre el uso del enfoque Nexo para el estudio de la gobernanza del agua residual en Manta, a lo que esta respondió que no existe una solución única a este problema debido a los contextos específicos de cada ciudad como las características socio-culturales, topografía y geografía. Además, añadió, que si solo se piensa desde una perspectiva del agua uno no se preguntaría sobre el uso energético asociado a esta. A su criterio, al reconocer que la energía y el agua están interconectados se puede obtener una mejor solución justificada en estos vínculos que existen entre estos elementos que serán diferentes de las soluciones históricamente adoptadas. Estas respuestas innovadoras serán

viables si se puede mostrar de forma sistemática que si no solo se cubre el dominio de lo relacionado al agua sino también se involucra a la energía las respuestas y soluciones serán holísticas.

Considerando a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se puede decir que, aunque la agricultura, el agua y la energía aparezcan en objetivos distintos dentro de los ODS, el propósito de estos es alcanzarlos conjuntamente, lo que supone la idea del Nexo está presente dentro de estos (Embid y Martín 2017). Además, la decisión de incorporar una meta dedicada al agua en el ODS 6, demuestra un claro reconocimiento de que este recurso no sólo es parte fundamental de otros objetivos, sino que en muchos aspectos es precondition para que estos se sucedan. El ODS 6 debe servir para abordar la crisis mundial del agua, evidenciada por una mayor escasez de esta, inadecuado saneamiento, contaminación, disminución acelerada de la biodiversidad del agua dulce y pérdidas de los servicios que proveen los ecosistemas (Bhaduri et al. 2016)(Bhaduri, y otros 2016).

En la región de América Latina y el Caribe, según Peña (2016)(Peña 2016) el acceso al agua no cumple con estándares aceptables. Aún existe sectores de bajos ingresos y población rural donde no hay acceso a los servicios mínimos de saneamiento y agua potable de calidad; usos productivos con suministro insuficiente o no sustentable, cuerpos de agua que han sufrido deterioro y pérdidas de ecosistemas y daños asociados a inundaciones.

En el Ecuador, si bien es cierto que la Constitución del 2008 no se formuló a partir del enfoque Nexo, en la norma constitucional se establecen elementos como la soberanía económica, la soberanía alimentaria y la energética. Asimismo, el agua se constituye como un derecho humano y se identifican los distintos usos del agua para evitar así conflictividad respecto a la priorización de cada uso, así como la determinación de las interacciones de los recursos hídricos con los sectores de energía y alimentos (Bernal 2021).

1.3 Marco metodológico

En esta sección se presenta la estrategia metodológica del documento, compuesta por el método, técnica e instrumentos de recolección de datos.

1.3.1 Método

Para determinar qué elementos del enfoque Nexo están presentes en la gobernanza del agua residual en Manta y cómo ésta ha contribuido a la adaptación al cambio climático, el tipo de investigación que se desarrollará es de tipo exploratorio y descriptivo. Exploratorio, para permitir una familiarización con el objeto de estudio y las interrelaciones existentes en el enfoque Nexo, determinar las tendencias y relaciones entre las variables nombradas por la literatura. Descriptivo también porque se pretende identificar y describir los diversos factores que influyen sobre el caso de estudio (Sampieri 2014).

Un estudio de caso es una investigación empírica sobre un fenómeno contemporáneo social complejo, analizado en su contexto. Nace de la necesidad de poder entender este fenómeno ya que permite a quienes lo investigan ser capaces de recoger las características más representativas de los eventos que suceden en la vida real (Escudero, Delfín y Gutiérrez 2008). Aunque existe una tendencia que sugiere que el estudio de caso debiera estar ubicado durante la fase exploratoria de una investigación, Escudero, Delfín y Gutiérrez (2008)(Escudero, Delfín y Gutiérrez 2008) sugieren que más bien debe existir una concepción pluralística, donde esta estrategia pueda usarse no sólo para fines exploratorios, sino también para propósitos descriptivos o explicativos.

El uso de una estrategia dentro del proceso investigativo viene dado por el tipo de pregunta de investigación. Para el uso de la estrategia de estudio de caso estas preguntas debieran ser del tipo cómo y por qué. Por cuanto, y considerando la pregunta de investigación (¿De qué manera la gestión de aguas residuales en la ciudad de Manta contribuye a la adaptación al cambio climático entre el periodo 2015-2021?); se trata entonces de describir cómo la estrategia de gestión contribuye con la adaptación al cambio climático. Además, el uso de esta estrategia es apropiada debido a que el investigador no tiene ningún control sobre los fenómenos en estudio y la temporalidad es contemporánea (Escudero, Delfín y Gutiérrez 2008).

El estudio de caso usa como herramientas a la observación directa de los eventos en estudio e incorpora entrevistas con los involucrados para así obtener una perspectiva holística lo que

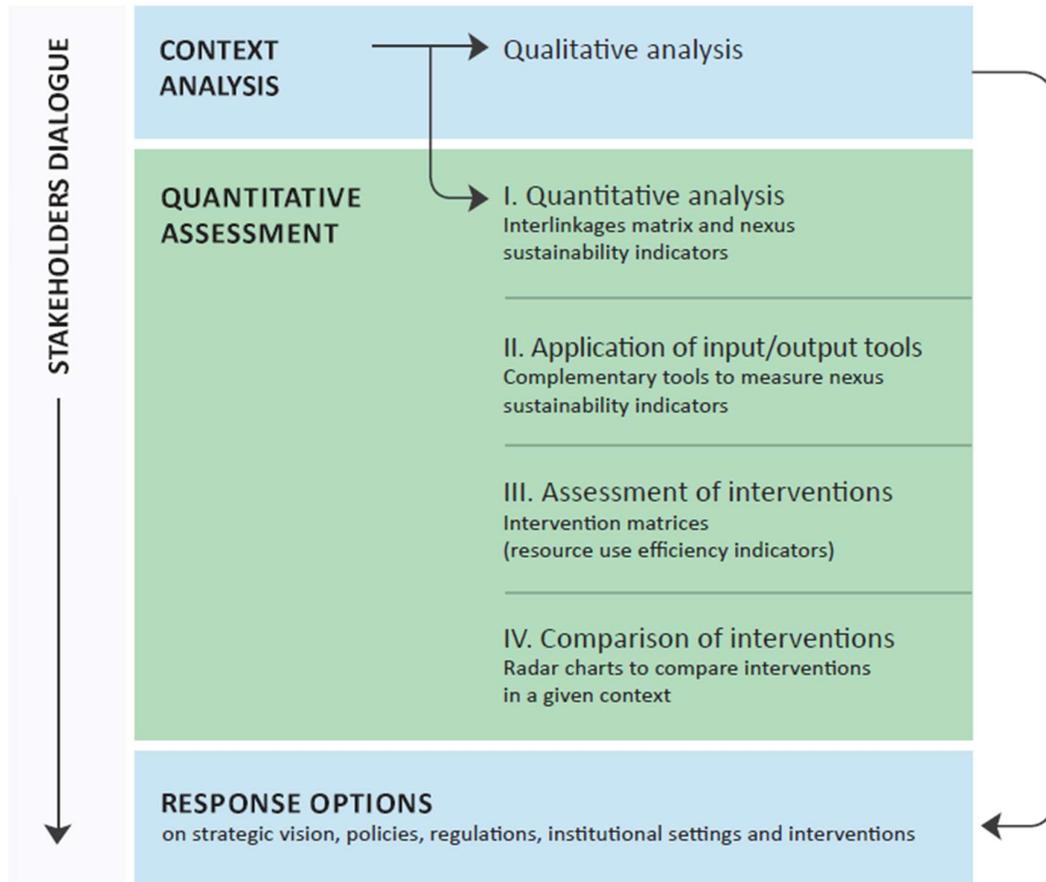
brinda al investigador más posibilidades para abordar el problema de investigación. La caracterización del método de estudio de caso de esta investigación es de corte descriptivo, ya que lo que se pretende es identificar los elementos críticos que inciden en el fenómeno estudiado, y de corte exploratorio ya que se pretende contrastar la teoría y sus categorías estudiadas con la realidad del objeto en estudio. El estudio de caso se convierte entonces en una herramienta para la generación de conjeturas debido a que busca entender el proceso por el que tienen lugar los eventos estudiados (Martínez 2006).

A través de una investigación documental cualitativa se recopilará información de distintas fuentes bibliográficas, con el fin de tratar de comprender el proceso de la gestión de aguas residuales en Manta y determinar su contribución a la adaptación al cambio climático. Para de esta forma poder construir una teoría fundamentada a partir de los datos encontrados en las fuentes y el contraste con el marco teórico construido.

Evaluación cualitativa del enfoque Nexo

La evaluación Nexo es un proceso participativo que ayuda a los formuladores de políticas a comprender situaciones críticas, donde tanto los recursos humanos como naturales se encuentran bajo presión, y que, además, existen puntos de inflexión en términos de posibles intervenciones tales como una política nueva o desarrollo de infraestructura (Flammini, y otros 2014).

Figura 1.1 Métodos cualitativos y cuantitativos en el enfoque Nexo



Fuente: Flammini et al. (2014).

A decir de los autores, los componentes de la evaluación Nexo se muestran en la figura anterior. Para tratar el entorno de Nexo se lo puede hacer de una forma cualitativa, es decir, a través de la opinión de los expertos o consultas a los distintos actores involucrados. No obstante, estos se hallan fortalecidos si se basan en una evaluación cuantitativa. Esto ayuda en la comprensión de prioridades sociales y los objetivos ambientales, económicos y sociales locales.

La información cualitativa se usa para una mejor comprensión de temáticas complejas, para poder contextualizar hallazgos cuantitativos o para poder explorar a mayor profundidad temas que no fuese posible hacerlo a través de encuestas con opciones de respuesta preestablecidas y limitadas. Dependiendo del instrumento usado, permite una conversación

más interactiva entre el entrevistador y entrevistado o grupo de entrevistados. Además, usando este método es posible obtener detalles que pueden no ser evidentes desde los resultados cuantitativos que llegan hasta cierto nivel de desagregación. El objetivo del diálogo con los actores principales es conocer (Flammini, y otros 2014):

- El estado actual de los recursos naturales y los ecosistemas.
- Tendencias esperadas y motivaciones para el uso y gestión de los recursos.
- Objetivos e intereses de los distintos sectores y usuarios respecto al agua, energía y alimento.
- Interacciones clave de los sistemas de agua, energía y alimenticios, incluyendo intercambios y acciones de los usos de los distintos recursos y gestión de los ecosistemas.
- Oportunidades de vinculación con los procesos de toma de decisión en curso.

En los casos donde se quiera mejorar la comprensión y la perspectiva del comportamiento y estructura de un sistema complejo como lo es el enfoque Nexo, un método efectivo que no necesita de gran información cuantitativa para representar sistemas dinámicos y en el que se puede emplear los diagramas de bucle causales (Purwanto et al. 2020)(A. Purwanto, J. Susnik y F. X. Suryadi, y otros 2020). A continuación, se hace una descripción de los sistemas dinámicos como método y a los diagramas de bucle causales como técnica para la representación del enfoque Nexo, caracterizado por ser un sistema complejo y dinámico.

Sistemas Dinámicos

En esta tesina se usará el método de Sistemas Dinámicos (SD) debido a la dificultad que representa resolver modelos analíticamente y al alto grado de no linealidad entre variables. Estos sistemas son considerados dinámicos debido a que consideran cómo cambia el sistema en el tiempo. Además, en sistemas simples, múltiples lazos de retroalimentación pueden inducir a comportamientos impredecibles en estos. Los SD permiten develar y entender las fuentes endógenas del comportamiento del sistema, además de mostrar visualmente los parámetros que pueden afectar significativamente todo el sistema, es decir, cambiando esos

parámetros se puede afectar todo el sistema. Por ello, los sistemas dinámicos pueden usarse para estudiar sistemas sociales, naturales y técnicos (Sisodia, Sahay y Singh 2016).

Asimismo, los modelos de SD pueden organizar la información de una forma eficiente, que es capaz de proveer un mejor entendimiento de un sistema que haya mostrado un comportamiento controversial o poco claro. Dando la oportunidad de poder reinterpretar el sistema y las variables que lo afectan (Sisodia, Sahay y Singh 2016). Finalmente, este método puede ayudar a definir cuáles son los vínculos críticos entre los elementos del sistema que determinan su comportamiento. La identificación de los vínculos críticos sirve para enfocar más los puntos donde se deben reforzar o aplicar posibles políticas que deriven de estos análisis.

La modelación de los SD se usa para analizar sistemas complejos imitando el sistema al nivel de detalle requerido y estos pueden ser usados por los gestores de políticas para entender el impacto potencial. La modelación asume que el comportamiento del sistema está en función de su estructura. Además, permite realizar análisis integrales de sistemas multisectoriales, tanto a un nivel macro como micro, a través de lazos causales de retroalimentación entre los elementos del sistema. Estos modelos contribuyen a sobrepasar dificultades en el desarrollo de políticas holísticas. Los lazos o bucles causales de retroalimentación desarrollados en el sistema sirven para esclarecer las fuentes de comportamiento y comprender mejor la estructura de retroalimentación del sistema. Por otra parte, el análisis dinámico en distintos escenarios puede ofrecer estructuras óptimas para la coordinación entre los elementos del sistema y ofrecer una base para la toma de decisiones (Zhang et al. 2018)(Zhang, y otros 2018).

El enfoque Nexo al ser multi sectorial necesita ser capaz de poder dar seguimiento a los patrones de comportamiento dentro de un sistema en lugar de centrarse en los elementos de forma individual (Purwanto et al. 2020)(A. Purwanto, J. Susnik y F. X. Suryadi, y otros 2020). Dentro de la construcción de una simulación de un sistema, es necesario en primer lugar definir los componentes que interactúan entre sí para generar el comportamiento que se está estudiando. Estos componentes se ubicarán dentro de los límites del sistema, y están estructurados a través de bucles de causalidad y retroalimentación. Los sistemas reales reaccionan a las intervenciones, donde los resultados de las acciones definirán las situaciones futuras, afectando las evaluaciones que deriven de estas (Sterman 2002).

1.3.2 Técnica

En esta sección se hace una breve descripción de las técnicas usadas para la obtención de información que permita la construcción de una teoría cualitativa de esta tesina.

Entrevistas a informantes y partes interesadas

Los informantes son personas que tienen conocimiento especializado en un tema específico de interés. Son capaces de hablar en nombre de un grupo y tienen una perspectiva general de los problemas sobre los cuales, de otro modo, sería difícil obtener información. Por lo general, se los entrevista de forma individual con una serie de preguntas abiertas o semiestructuradas.

Entre los beneficios de este método se encuentran: permite muestrear intencionalmente entre grandes poblaciones; las personas con experiencia pueden proporcionar una visión general sobre un tema o en su defecto ayudar a complementar vacíos; finalmente, permite incorporar puntos de vista desde distintos sectores para el análisis Nexo y para desafíos complejos e intersectoriales en general.

Los retos para este instrumento son: que puede resultar difícil identificar y contactar a los informantes clave; si bien este instrumento permite el muestreo intencional puede existir la posibilidad que actores clave o grupos interesados queden fuera.

Diagramas de bucle causal

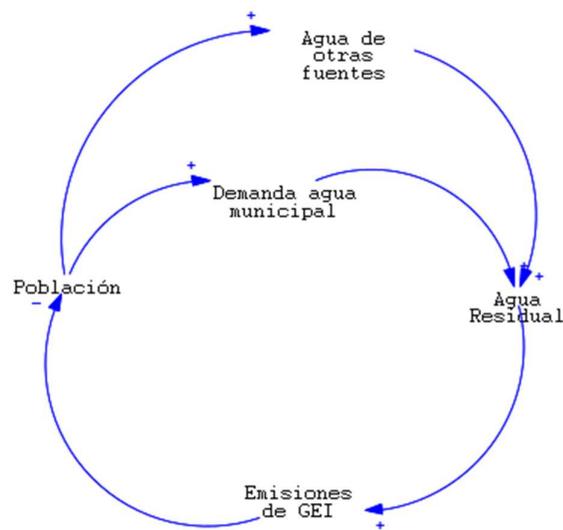
Un concepto clave dentro de la dinámica de sistemas es que el comportamiento emergente es el resultado de las interacciones entre los componentes que constituyen al sistema. Estas interacciones no son solo cadenas causales simples en una dirección única, sino que existe retroalimentación, lo que conlleva a que las acciones afectan el estado del sistema, y el estado cambiado del sistema afecta a las acciones futuras. En los sistemas de ingeniería, las interacciones entre los componentes se diseñan cuidadosamente para generar un

comportamiento emergente deseado. No obstante, cuando en un sistema interactúan humanos, componentes tecnológicos y componentes naturales, los comportamientos emergentes no siempre son predecibles. Por ello, se pueden modelar las interacciones entre los elementos del sistema y al usar estos modelos se obtiene una comprensión parcial del comportamiento dinámico, así como información sobre estrategias de intervención para la consecución de objetivos deseados.

Un diagrama de bucle causal, conocido como CLD por sus siglas en inglés, consiste en una colección de variables que describen una parte del sistema modelado. Es una técnica para representar cualitativamente un modelo conceptual de procesos que dan lugar al comportamiento observado de un sistema. Estas variables pueden ser tanto elementos físicos como atributos. Un CLD es creado conectando estas variables con enlaces causales representados por flechas. Un CLD muestra cómo los elementos del sistema están interrelacionados con flechas que significan causalidad mas no correlación, y cómo un cambio en una variable afecta a otra. Los CLD ofrecen a los tomadores de decisión una forma sencilla e intuitiva de poder visualizar un sistema completo, incluyendo los procesos de retroalimentación. Para los modeladores es una herramienta muy útil que permite capturar las complejidades de los sistemas dinámicos a través de las interrelaciones entre sus componentes y formar así una base para futuros análisis (Purwanto et al. 2019)(A. Purwanto, J. Susnik y F. Suryadi, y otros 2019).

Existen cuatro elementos esenciales en un CLD que son: dirección, polaridad, retraso y retroalimentación. La dirección indica la causalidad de elementos del sistema que está vinculado por flechas. Hay dos tipos de polaridad, incluida la polaridad positiva (+) y la polaridad negativa (-). Si una causa y consecuencia están unidas con un signo de polaridad positiva, indica que la causa y la consecuencia cambiarán en paralelo. Es decir, la consecuencia aumenta a medida que aumenta la causa y disminuye a medida que disminuye la causa. Por el contrario, la polaridad negativa sugiere un vínculo inverso entre causa y consecuencia. El retraso puede desempeñar un papel importante en el análisis del sistema complejo. También puede conducir a la inercia del sistema y al fracaso de las medidas y políticas.

Figura 1.2 Ejemplo de CLD



Fuente: Elaboración propia

Para el ejemplo mostrado se tiene que un incremento en la población ocasiona que exista una mayor demanda de agua potable municipal. En este caso también existe causalidad con agua de otras fuentes porque puede que el abastecimiento de agua sea a través de tanqueros de agua y no a través de la red pública de agua potable. Si más agua es consumida tanto de provisionamiento municipal como de otras fuentes, el agua residual también se incrementará lo cual puede observarse con los signos positivos que existen en las flechas. Las aguas residuales conllevan inherentemente la generación de gases de efecto invernadero como el dióxido de nitrógeno N₂O. Un incremento en las emisiones de GEI afecta peyorativamente a la calidad de vida y salud de la población por cuanto este vínculo nos dice que a medida que las emisiones crecen la población se podría ver reducida, en el diagrama esto se simboliza con el signo negativo.

1.3.3 Instrumento de recolección de información

En esta sección se habla sobre los instrumentos usados tanto para la recolección de información como del modelado del diagrama de bucles.

Cuestionario para la entrevista y proceso de entrevista

Una vez terminada la fase de recopilación y análisis de la información, se procede a realizar una síntesis de esta con el propósito de esclarecer las ideas fundamentales cuyo aporte sirve para complementar el análisis documental previamente realizado. Al realizar una entrevista se puede seguir un formato abierto, semiestructurado o estructurado.

Software Vensim

Vensim es un software de simulación para mejorar el rendimiento de los sistemas reales. El conjunto de funciones de Vensim enfatiza la calidad del modelo, las conexiones a los datos, la distribución flexible y los algoritmos avanzados. Vensim se utiliza para desarrollar, analizar y empaquetar modelos de retroalimentación dinámica. Para la construcción de modelos, Vensim y otros lenguajes de programación sobre dinámica de sistemas tienen mucho en común. Las funciones disponibles y las presentaciones gráficas predeterminadas son similares. Sin embargo, este software es más flexible que la mayoría en la apariencia del diagrama del modelo, lo que permite mezclar fácilmente elementos que representan entradas y salidas del sistema, stock, flujo y bucle causal (Ventana Systems s.f.).

Capítulo 2. Estudio de caso

En este capítulo se presenta una descripción del sistema de gestión de las aguas residuales por parte de EPAM en los años 2015 a 2021. Además, se analiza la interrelación del agua con la energía y finalmente se modela un sistema dinámico en diagrama de bucles sobre las distintas interacciones, así como las retroalimentaciones tanto del sistema actual como de la incorporación de las mejoras en el mismo.

2.1 Descripción del modelo de gestión de la Empresa Pública Aguas de Manta

En esta sección se contextualiza y puntualiza los alcances del estudio de caso, así como se presentan los hallazgos de la aplicación de la estrategia metodológica.

2.1.1 Características del contexto

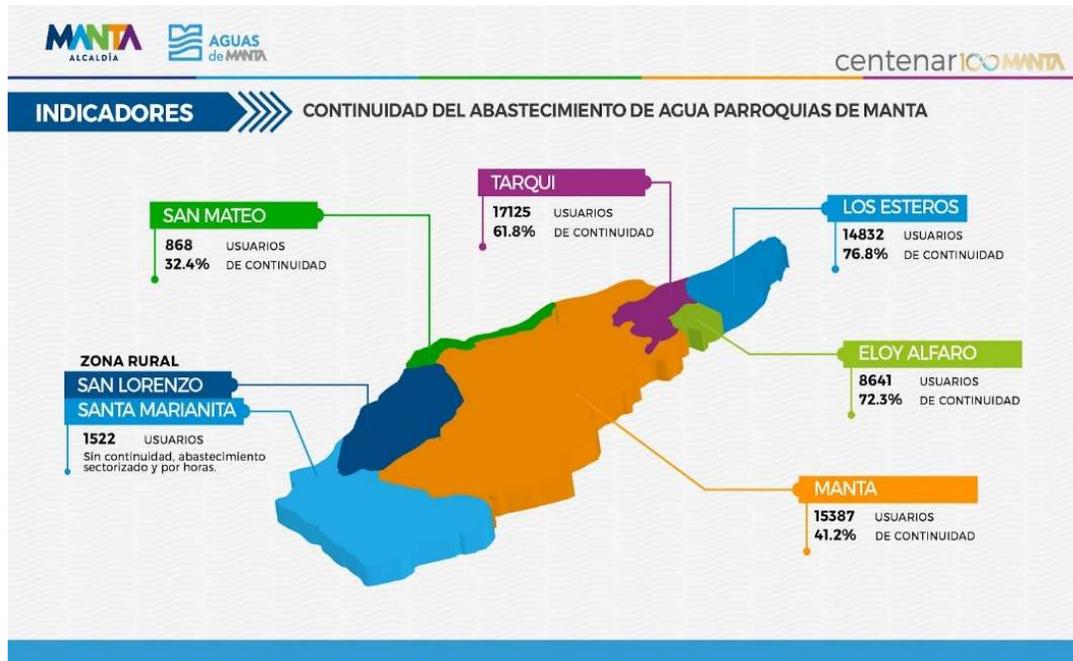
Manta es una de las ciudades más importantes del Ecuador, que en los últimos años ha presentado niveles de desarrollo social y económico elevados que han derivado en una tendencia de crecimiento poblacional elevada. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) para el 2010 la ciudad contaba con 226 477 habitantes, siendo superior este número respecto al censo del 2001 en 34 155. Además, según la Dirección Municipal de Planificación y Ordenamiento Territorial de la ciudad se estima que la población en el año 2015 fue de 241 448 habitantes. Considerando la relación de crecimiento se podría estimar que la población de Manta al año 2021 sería de casi 279 000 habitantes (EPAM 2021).

Manta al ser una ciudad del perfil costero, se constituye en una zona importante de transición entre los sistemas terrestres y los marinos. Esto permite que puedan converger con el mar directamente la dinámica pluvial y escorrentía superficial por sus tres cuencas principales de drenaje pluvial de cauces estacionales (esto debido a que pasan por lo general secos a excepción de invierno) que son los ríos Manta, Burro y Muerto. Asimismo, se debe notar la topografía irregular de la ciudad con cotas que varían de 400 msnm a 1 msnm.

La Empresa Pública Aguas de Manta (EPAM) se constituye en el 2010 a través de Ordenanza del Concejo Cantonal de Manta, como la encargada de velar por la gestión y dotación de

servicios de agua potable y alcantarillado en el cantón Manta, Manabí, Ecuador, de acuerdo con lo que rige en la Constitución de la República y la Ley Orgánica de Empresas Públicas (EPAM 2021).

Figura 2.1 Continuidad del abastecimiento de agua por parroquias en el cantón Manta



Fuente: EPAM (2021).

La EPAM en su área de servicio presenta distintos niveles de continuidad en el suministro de agua potable entre las distintas parroquias que la componen. Es por lo que gran de parte de los domicilios y comercios en esta ciudad cuentan con cisternas de almacenamiento de agua y sistemas de bombeo para poder tener acceso al líquido vital. Además, de que en ocasiones el suministro de agua es por tanqueros.

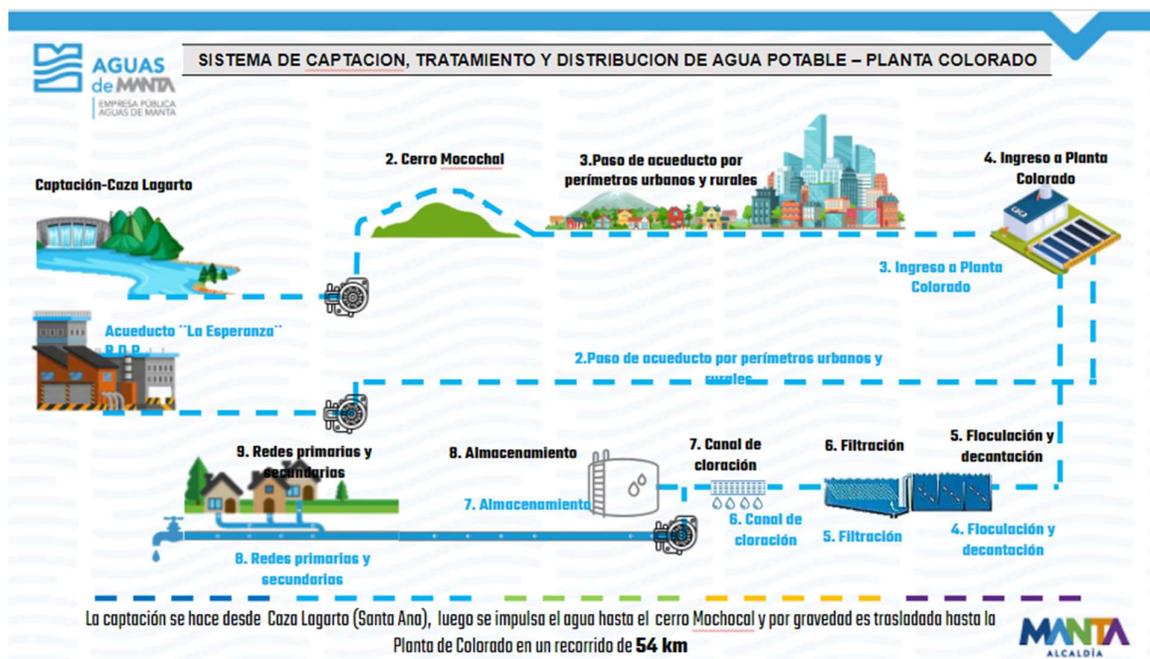
La EPAM presenta un 95 % de cobertura de agua potable y un 75 % de cobertura de alcantarillado sanitario. Aunque el nivel de cobertura de agua sea alto, esto no es sinónimo de continuidad de suministro. Es decir, se cuenta con la infraestructura para la dotación, pero factores como la lejanía de las plantas de captación y problemas causados por las fuertes lluvias en especial durante invierno lo cual genera turbiedad del agua no permiten abastecer de agua potable continuamente al área de servicio (EPAM 2021).

Las fuentes de agua dulce del cantón Manta están ubicadas a distancias considerables de la ciudad. La captación y planta de agua potable El Ceibal se encuentra a 32 kilómetros (km) de la ciudad en el cantón Rocafuerte y tiene una capacidad de 1050 litros por segundo (lt/seg). La captación Caza Lagarto se encuentra a 54 km de la ciudad en el cantón Santa Ana y tiene una capacidad de 300 lt/seg. Finalmente, el acueducto La Esperanza que capta el agua desde la represa la Esperanza en el cantón Bolívar, proyecto derivado de la Refinería del Pacífico, está a una distancia de 93 km y una capacidad de 350 lt/seg (ULEAM 2020). Por tanto, todas las fuentes de agua dulce de Manta están ubicadas en otros cantones.

Tanto la captación Caza Lagarto como el agua proveniente del acueducto La Esperanza desembocan en la planta de tratamiento Colorado, desde donde se distribuye al área de servicio a través de aproximadamente 111 km de tubería, mientras que desde El Ceibal se distribuye a través de una red de 679 km de tuberías a las parroquias Los Esteros, Manta, Tarqui, San Mateo, San Lorenzo y Santa Marianita. Esto quiere decir que el agua tiene un largo recorrido desde su captación hasta los puntos de entrega, lo que deriva en usos intensivos de energía por los bombeos requeridos para movilizar y distribuir el agua (GAD MANTA 2020).

La Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) “El Ceibal” tiene una capacidad nominal de 90 000 m³/día y potabiliza alrededor de 72 000 m³/día y La PTAP “Colorado” con una capacidad de 25.000 m³/día potabiliza entre 17 000 a 18 000 m³/día. Lo cual da cuenta de que la ciudad de Manta potabiliza alrededor de 90.000 m³/día que son distribuidos en toda la ciudad, así como también a los cantones y parroquias vecinas a los que se les dota de agua en bloque (Rocafuerte, Crucita, Montecristi y Sucre).

Figura 2.2 Captación Caza Lagarto y acueducto La Esperanza



Fuente: EPAM (2021).

2.1.2 Aguas residuales

La red de alcantarillado de Manta se compone de tuberías y colectores que conducen las aguas residuales hacia la planta de depuración que son las lagunas de oxidación y/o estabilización. La red de distribución, drenaje de aguas lluvias y recolección de aguas servidas se construyó hace 55 años en tuberías de hierro dúctil, hormigón simple, y de asbesto cemento. Esta infraestructura se encuentra en proceso de destrucción debido a las fugas de agua existentes, reboses de aguas residuales e inundaciones urbanas. En adición, todo lo anterior ha visto perjudicada aún más su situación tras el terremoto del 16 de abril de 2016 (GAD MANTA 2020).

En cuanto a las problemáticas que presenta el sistema de redes de aguas servidas (todo esto antes de los trabajos que se realizarán por la declaración de emergencia de este sector en 2019) se puede mencionar que (GAD MANTA 2020):

- En la Estación de Bombeo “Los Esteros”, existe insuficiente capacidad de transporte de las AASS de la línea de impulsión actual; déficit en los equipos de bombeo, afectaciones estructurales en los cárcamos de bombeo tras el terremoto; se bombeo desde esta estación hasta Las Rocas y por gravedad hacia Miraflores. Debido a la deficiente capacidad de bombeo se generan reboses.
- En la Estación de Bombeo “Miraflores”, existe también déficit en los equipos de bombeo; el ingreso de sólidos a los cárcamos genera afectaciones a las bombas; inicialmente la estación estaba diseñada para que operasen ocho bombas, sin embargo, solo trabajan dos y existe una de emergencia; de las dos líneas de impulsión y debido al déficit de bombeo solo trabaja una; esta estación recibe el 95 % del caudal de aguas de residuales de la ciudad; el sistema eléctrico es antiguo lo cual se refleja en la continuidad del servicio.
- Para el sistema de aguas lluvias de la Parroquia Tarqui y Los Esteros, este sistema es insuficiente, los colectores se encuentran en mal estado debido a su vetustez y las afectaciones por el terremoto; las conexiones clandestinas de aguas servidas generan contaminación en el perfil costero; el sedimento en los colectores reduce la capacidad hidráulica y provoca colapsos en la época lluviosa.
- En cuanto a las redes de recolección de aguas servidas y distribución de aguas pluviales La Aurora, Palmar y Pradera, el sistema es antiguo, y, por tanto, insuficiente para abastecer a la población actual, los colectores han sido afectados por el terremoto; también se tienen identificadas conexiones clandestinas; existe déficit en la red de hidrantes contra incendios; finalmente también existen pérdidas de agua potable debidas a conexiones clandestinas.

Foto 2.1 Inundaciones por colapso de colectores por fuertes lluvias en Tarqui y Los Esteros

PROBLEMAS DE DRENAJE PLUVIAL SECTOR TARQUI – LOS ESTEROS.



Fuente: EPAM (2021).

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) “El Gavilán” cuenta con una capacidad de máxima de 90 000 m³ que puede llegar a recibir para realizar el respectivo tratamiento. Esta planta de tratamiento inició sus operaciones en el año 1978.

Para estimar el caudal de efluente que llega a las lagunas, más allá de tomar en consideración la capacidad de las lagunas de oxidación se toman datos como la capacidad instalada de las estaciones de bombeo de aguas residuales, que impulsa el agua hasta las lagunas:

- Estación de Bombeo Los Esteros: Capacidad Instalada de evacuación de aguas residuales 15 000 m³/día
- Estación de Bombeo Las Rocas: Capacidad Instalada de evacuación de aguas residuales 10 000 m³/día
- Estación de Bombeo Miraflores: Capacidad Instalada de evacuación de aguas residuales 45 000 m³/día

- Estación de Bombeo Capitanía Pesquera: Capacidad Instalada de evacuación de aguas residuales 10 000 m³/día

Es importante considerar que el sistema de aguas residuales, no solo recibe el agua tratada y distribuida por la red de agua potable de la EP-Aguas de Manta, sino que muchos usuarios cuentan con abastecimientos externos como tanqueros, pozos y en el caso de cierta industria toman como una fuente tercera de abastecimiento la desalación, incrementando el volumen de caudal que debe ser tratado previamente a su descarga, sumando a esta problemática la calidad con la que muchas empresas “grandes productores” de aguas residuales, descargan fuera de parámetro y con una alta carga contaminante al sistema de alcantarillado, sin cumplir por ley con lo establecido en la Tabla 8: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente y presentada en el Registro Oficial 387 del miércoles 4 de noviembre de 2015, misma que indica los parámetros de calidad para poder descargar a la red pública.

Figura 2.3 Tabla 8 TULSMA

TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻¹	mg/l	1,0
Ci nc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Mangane so total	Mn	mg/l	10,0
Me rcurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kje dahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendidos Total e s	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

Fuente: Registro Oficial 387.

En la ciudad de Manta los sistemas de alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial son usados tanto por usuarios residenciales y no residenciales para verter sus aguas residuales y aguas lluvias. Por un lado, los usuarios residenciales debido a las características de sus

efluentes no presentan mayor problema al sistema de alcantarillado, sin embargo, los usuarios no residenciales (industriales) sí pueden llegar a afectar los sistemas hidrosanitarios por el volumen y las características de sus vertidos. Entre las problemáticas ambientales más recurrentes están los efluentes con parámetros de descargas por encima de los límites permisibles al sistema de alcantarillado, descargas de aguas residuales al sistema de aguas lluvias, situación que se da debido al mal uso del alcantarillado y el deficiente control a lo largo del crecimiento e industrialización de Manta.

La ciudad de Manta realiza el tratamiento de sus aguas residuales en la PTAR el Gavilán. Ubicada entre los sectores “San Juan” y “Los Gavilanes”. Tal sistema consta de 12 lagunas.

Figura 2.4 PTAR El Gavilán



Fuente: EPAM (2016).

La sección remarcada con rojo representa a las lagunas anaerobias, mismas que se encuentran recubiertas con una geomembrana para facilitar las actividades microbiológicas con ausencia de oxígeno. En esta etapa es donde se degrada la mayor cantidad de materia orgánica y es aquí donde más se complica el tratamiento por el tipo de vertidos en la ciudad. Manta al ser una ciudad de producción atunera, tiene una gran cantidad de usuarios no residenciales dedicados a este tipo de actividad. La conservación de la pesca en las embarcaciones se

realiza con la congelación del producto dentro de las bodegas, y para poder desembarcar la pesca se hace uso de salmuera para descongelar el hielo. Por lo que en las descargas de aguas residuales se mantienen niveles altos de cloruros.

Los principales gases de efecto invernadero (GEI) emitidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales son el metano (CH₄), dióxido de nitrógeno (N₂O) y dióxido de carbono (CO₂). Estas emisiones están categorizadas como directas si es que se dan durante el proceso de tratamiento. Las emisiones debidas al consumo de químicos y energía, transporte y descarga de aguas residuales son indirectas debido a que, aunque no tengan emisiones dentro de las fronteras de la planta de tratamiento, son dependientes a esta. El N₂O, cuyo potencial para el calentamiento global es 265 veces superior al del CO₂, se produce durante la fase del tratamiento con los lodos activos de las piscinas de estabilización y el tratamiento biológico de caudales fuertes de aguas residuales (Radini et al. 2021)(Radini, y otros 2021).

No existe un laboratorio que realice una medición de los gases contaminantes, pero sí se cuenta con un proveedor externo que es el encargado de realizar el tratamiento a la PTAR y entre sus tareas está el realizar análisis de calidad al efluente previo a su descarga a los cuerpos de dilución.

Figura 2.5 Resultados de análisis de efluente de PTAR

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	LMP ¹
		ENTRADA	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	459	500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	mg/L	222	250
Cobre	mg/L	0.03	1.0
Cromo Hexavalente	mg/L	0.123	0.5
Conductividad	μS/cm	4050	-
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2100	-
Salinidad	‰	2.14	-
Oxígeno Disuelto	mg/L	0.23	-
pH	-	7.29	6 - 9
Temperatura	°C	28.1	< 40

¹ *límite máximo permitido establecido en el Registro Oficial 387, AM 097-A/2015. Anexo1, libro VI, Tabla 8. Límites De Descarga al sistema de alcantarillado público.*

(*) *Parámetro fuera de norma*

Fuente: EPAM (2021).

Resumiendo, las lagunas de estabilización que involucran lagunas anaeróbicas, facultativas y de maduración se encuentran en mal funcionamiento por los siguientes motivos:

- Debido a las descargas industriales sin tratar, la calidad del afluente recibido rebasa los límites máximos permitidos.
- Dado el sobrepaso de los límites, el trabajo de los microbios se ve exacerbado lo cual conduce a una mayor generación de gases de mal olor como: gas sulfhídrico, putreaminas, cadavarinas, entre otros. Asimismo, esta cantidad de gases también aumenta debido a la cantidad de materia orgánica que entra a las lagunas, con ello, los microbios anaerobios se proliferan. Esta proliferación de microbios ha derivado en una invasión de estos en las lagunas facultativas y de maduración, convirtiéndolas en anaerobias, por ello se evidencia el color rojo en el efluente.
- No se cuenta con registros de medición de los caudales que ingresan.
- No se cuenta con sistemas de pretratamiento para el control y la eliminación de grasas y aceites, ni área de amortiguamiento.
- No exista un filtrado para la eliminación de partículas gruesas y arenas.
- El flujo del tratamiento de las aguas residuales se encuentra interrumpido en ciertos sectores.
- Además, existen zonas muertas sin la suficiente cantidad de agua para que el caudal siga fluyendo.
- No se cuenta con la posibilidad de tratar lodos residuales.
- No existen la infraestructura especial requerida para una mejor operación, ni vías de acceso adecuadas (EPAM 2016).

Mapa 2.1 Sistema de alcantarillado Manta



Fuente: EPAM (2021).

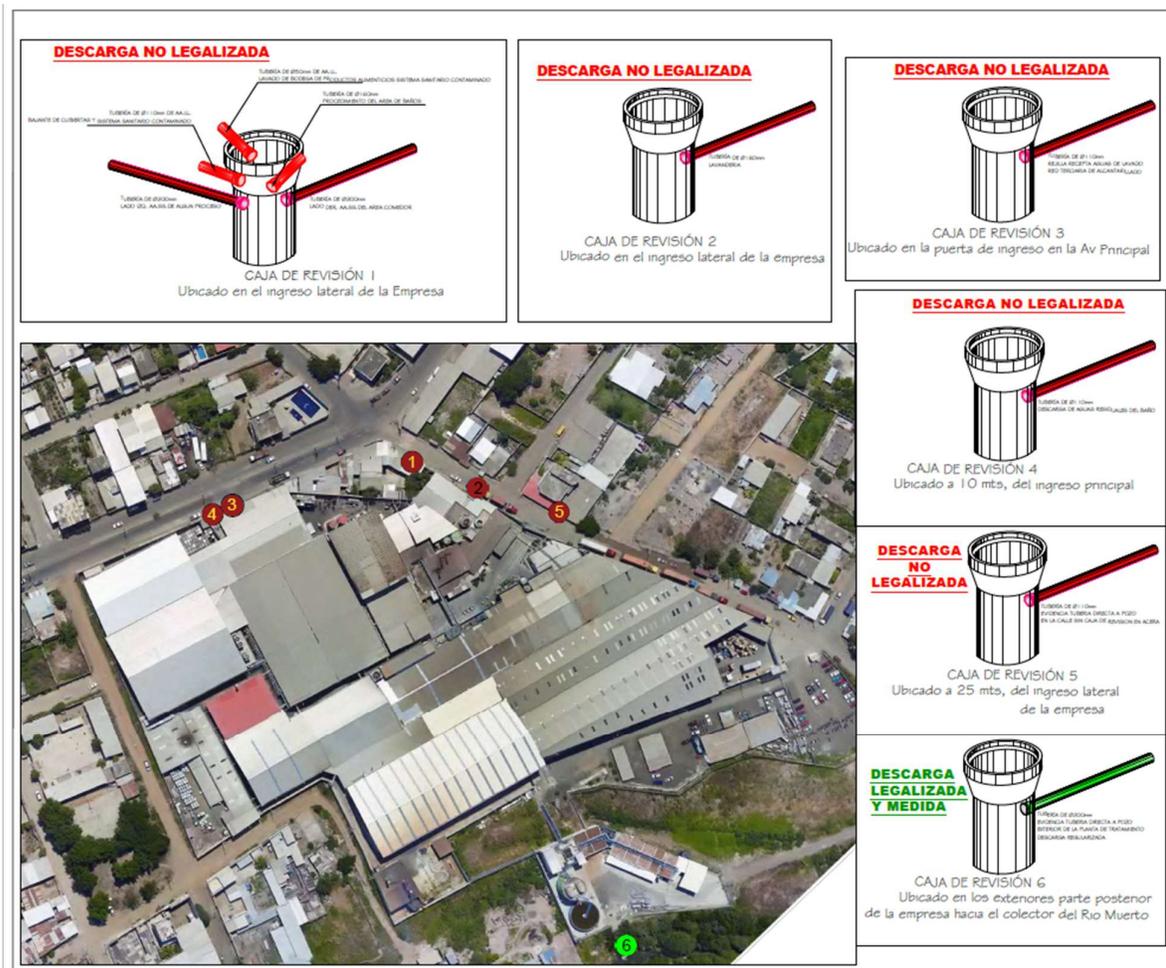
En el diseño inicial se había concebido tener por separado sistemas de aguas lluvias y el alcantarillado sanitario, sin embargo, el sistema actual es un sistema que combina a ambos, por ende, las descargas de las lluvias hacia los cursos de los ríos Manta y Burro se encuentran contaminados por las descargas sanitarias.

El no contar con servicios sanitarios con estándares de calidad genera problemas de salud en la ciudadanía de Manta, problemas de contaminación ambiental a los recursos hídricos naturales y cuerpos de agua, lo que también perjudica directamente a uno de los ejes económicos más importantes del cantón que es el turismo.

La red de alcantarillado deficiente, sumado a las descargas sin tratar de las empresas pesqueras, las lagunas de oxidación sobrepasadas su carga nominal, instalaciones clandestinas de aguas residuales conectadas a la red pluvial, o en empresas pesqueras para evitar medición de agua residual, así como los desechos arrojados directamente al río inciden directamente en la contaminación ambiental.

La actividad industrial y consecuentemente sus descargas de aguas residuales sin el debido tratamiento en algunos casos son consideradas las que generan mayores impactos ambientales, entre las que destaca las industrias procesadoras de productos del mar y empresas de productos oleaginosos (EPAM 2019). Las descargas clandestinas se dan en la industria pesquera fundamentalmente, para primero no pagar los cánones y la medición de aguas residuales descargadas, y segundo, para no tratar sus aguas residuales antes de descargarlas a la red pública como lo muestra la figura 2.8 y 2.9. A pesar de los controles que se ejercen, en la práctica se sigue produciendo, lo que pone en evidencia la sobreposición del poder de este actor en la normativa vigente.

Figura 2.6 Descargas clandestinas detectadas en industria de pescado



Fuente: EPAM (2021).

Foto 2.2 Descarga de efluentes ilegales



Fuente: EPAM (2021).

De acuerdo con los registros históricos para el año de 1990 se reportó 128,38 millones de metros cúbicos de volumen de desecho y carga contaminante hacia el mar. Mientras que para el año 2010 esta cifra alcanzó los 202,45 millones de metros cúbicos (m³), lo cual refleja un incremento del 157 % (EPAM 2019). En las lagunas de oxidación se reciben diariamente un total de 45 000 m³ y estas al final del proceso son vertidas en el río Manta que atraviesa la ciudad en sentido oeste a este. A pesar de que del río Manta no tiene aguas superficiales, puesto que al ser estacional solo tiene agua en los meses de lluvia, los efluentes de la PTAR pueden afectar a las aguas subterráneas del lecho del río. Los efluentes a través de este río llegan hasta las playas del sector de Tarqui donde pueden llegar a contaminar aproximadamente 200 000 m³ lo que perjudica la calidad de los peces y mariscos que son extraídos para posterior consumo humano (EPAM 2019).

Durante el recorrido del río Manta, como se mencionaba anteriormente, se incorporan descargas ilegales que vienen de las casas asentadas en las orillas del río. Además, se debe resaltar que los ríos de Manta son estacionales, es decir, sólo tienen caudal durante la época de lluvias. En la estación seca, estas aguas se estancan antes de llegar al mar lo cual exacerbaba aún más la contaminación ambiental y la emisión de malos olores.

Esta característica del río va en detrimento del objetivo de poder diluir la carga contaminante y orgánica de los efluentes. Asimismo, estos efluentes que llegan a las piscinas de oxidación están caracterizadas por tener un alto contenido de cloruros debido al uso de agua salobre e infiltraciones en tuberías cercanas al mar, lo cual debe preverse para el debido tratamiento antes de que estas desemboquen en el cuerpo receptor, mismo que debe tener un nivel adecuado de recambio con el fin de que no representen una amenaza para los asentamientos poblacionales en la franja costera. Adicional a los cloruros presentes en los efluentes, también se ha detectado la presencia de tensoactivos, sólidos totales, sulfatos, así como la presencia de mercurio (EPAM 2016).

2.1.3 Vulnerabilidad en los ríos Burro, Manta y Muerto (EPAM 2021)

Otra de las problemáticas asociadas a las cuencas de los ríos Burro, Manta y Muerto son los asentamientos en los márgenes de los cauces, los que provocan el estrangulamiento de estos y aminoran la capacidad hidráulica de las cuencas naturales. A los cuales también se suman afectaciones tales como: aumento del radio de influencia por inundaciones, mayor vulnerabilidad ante eventos sísmicos, aumento de vectores, infiltraciones e impacto ambiental por uso incorrecto de los cauces.

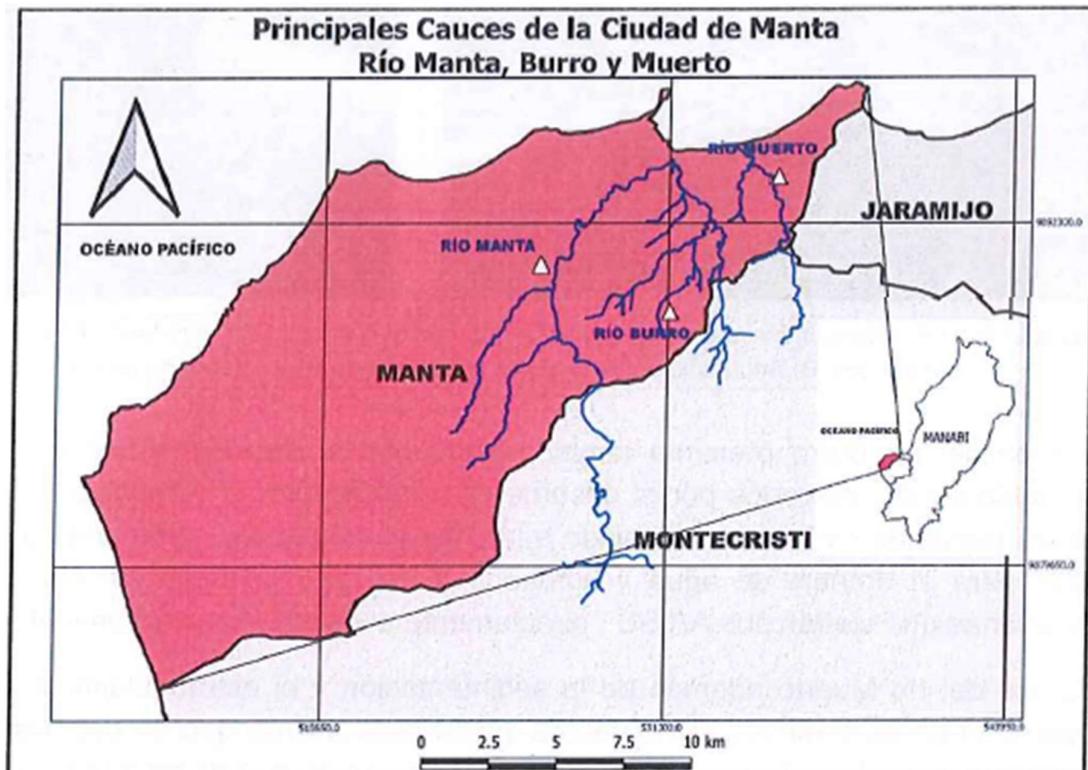
Foto 2.3 Estrangulamiento de cauce debido a asentamientos



Fuente: EPAM (2021).

El rol que desempeñan las cuencas en los servicios ecosistémicos es de mucha relevancia. Las cuencas de los ríos que atraviesan Manta, sin embargo, nacen en puntos más altos fuera de los límites de la ciudad, precisamente en Montecristi como se indica en la figura 2.10. Las cuencas no entienden de límites cantonales, por ello, las acciones que ocurran en las partes altas repercutirán directamente en las zonas bajas.

Mapa 2.2 Ríos de Manta estacionales



Fuente: EPAM (2021)

Para el caso específico del río Manta, el cual nace en las faldas del cerro Montecristi, presenta serios problemas de sedimentación, esto debido a las modificaciones que se realizaron en la cuenca alta que sucedieron durante la construcción de la plataforma de la Refinería del Pacífico. Estos trabajos han hecho que los suelos se erosionen y el material se quede suelto y sea arrastrado y depositado en las partes bajas de la cuenca. Este material suelto tiende a embancarse y se va mezclando con arena y los arrastres producidos por los efluentes de aportación a las lagunas de oxidación. Las sedimentaciones hacen que el agua se estanque y reduzca la capacidad hidráulica del cauce. Esto podría derivar en inundaciones a lo cual se suma los desechos que son lanzados hacia los cauces.

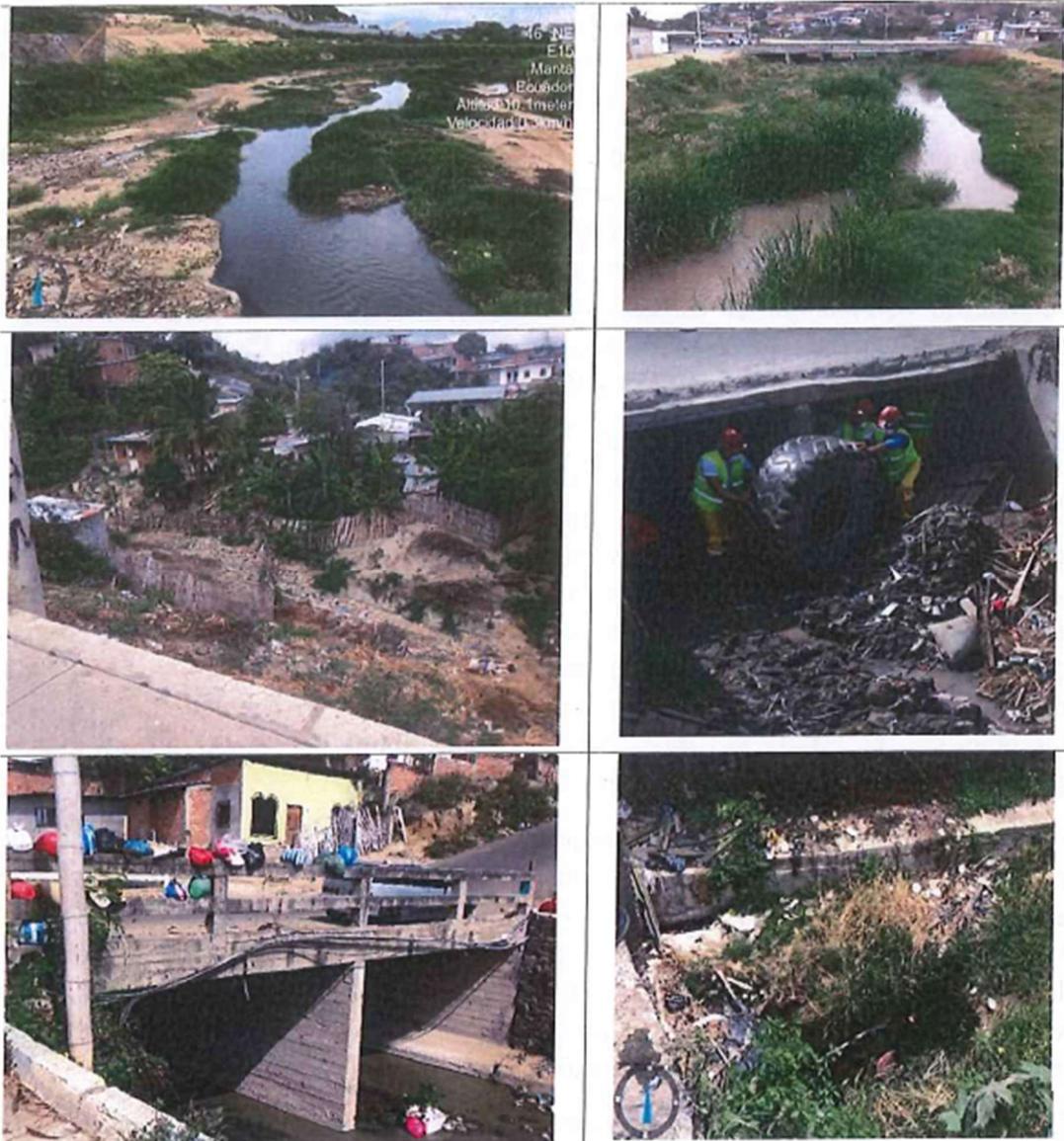
En el caso del río Burro, este también presenta problemas de sedimentación, así como de estrangulamiento de su cauce. A lo largo del cauce también se han identificado conexiones clandestinas de aguas servidas por parte los asentamientos en las riberas. Además, el río

Burro registra el impacto de efluentes industriales desde la cuenca alta del río. Afectación que sufren también el río Muerto y Manta.

En adición a los problemas mencionados como el estrangulamiento de los cauces por los asentamientos en las riberas, la sedimentación en las partes bajas de la cuenca, conexiones clandestinas de aguas servidas en el cauce, el arrastre de efluentes industriales de la parte alta de la cuenca, se suman: exceso de macronutrientes en los cauces del río Manta y Burro que se pueden notar en el rápido crecimiento de vegetación en zonas puntuales; mal manejo de desechos por parte de la ciudadanía que tienden a disponer desechos y residuos en las riberas e incluso dentro del cauce mismo.

Los minerales y nutrientes que se encuentran acumulados en los sedimentos que en conjunto con la materia orgánica de las aguas residuales que existen en el cauce debidas a conexiones clandestinas y/o fugas de los sistemas hidrosanitarios generan las condiciones propicias para que crezca vegetación en medio del río. Esta vegetación retiene los suelos y se interpone al flujo normal del agua. Por otra parte, cuando los ríos son caudalosos durante el periodo invernal esta vegetación se desprende y es arrastrada aguas abajo provocando obstrucción de ductos de aguas lluvias, complicando de esta manera los drenajes pluviales.

Foto 2.4 Sedimentación, desechos en cauces y vegetación



Fuente: EPAM (2021).

Aunque no se cuenta con una cuantificación exacta del volumen de agua provenientes de descargas ilegales en los ríos Manta, Burro y Muerto, los impactos no pueden ignorarse, donde además de malos olores, se generan vectores (moscas, mosquitos y roedores) y enfermedades que van desde gastrointestinales hacia psicológicas. Asimismo, un alto índice de coliformes fecales en las playas Tarqui y Los Esteros, lo cual constituye a este problema en uno de los principales de salud pública local (EPAM 2019).

2.1.4 Impacto del Terremoto del 16 de abril de 2016

Durante el terremoto que sufrió la costa ecuatoriana el 16 de abril de 2016, la EPAM se encontraba preparando el Plan de Mejoras, sin embargo, la fuerza de este terremoto fue tal que produjo la pérdida de centenares de vidas, miles de heridos, afectaciones a las viviendas y daños a las infraestructuras de servicios, entre ellos las de EPAM. Los daños se produjeron tanto en la infraestructura de agua potable como en la de saneamiento, donde la zona Tarqui resultó ser la más afectada de la ciudad. Producto del movimiento telúrico, la tubería de impulsión desde el centro de bombeo en la captación del río hasta la planta de tratamiento El Ceibal fue desacoplada y desalineada. Esta tubería de Hierro Dúctil con un diámetro de 800 mm está instalada sobre una ciénaga lo cual complicó su reparación.

Foto 2.5 Daños en la tubería hacia PTAP Ceibal



Fuente: EPAM (2016).

El acueducto Santa Martha antiguo presentó una fisura a la altura de la Avenida La Cultura. Esta tubería tiene un diámetro de 450 milímetros (mm), anteriormente transportaba agua desde el tanque Azua a Santa Martha, en la actualidad es una línea de distribución que atiende a los sectores 15 de septiembre y San Pedro.

Foto 2.6 Daños en el acueducto Santa Martha



Fuente: EPAM (2016)

En el acueducto Colorado – Santa Marta, encargado de transportar agua desde la planta Colorado hasta los tanques de 1 000 metros cúbicos (m³) y 2 500 m³ de Santa Martha desde donde se abastece al centro de la ciudad de Manta y la zona de vía a San Mateo, sufrió una fractura que derivó en una desacoplación completo y desalineamientos en su trazado. El diámetro de esta tubería es de 700 mm de material PRFV.

Foto 2.7 Daño en el acueducto Colorado - Santa Marta



Fuente: EPAM (2016)

Existieron daños en sistemas de bombeo y tanques elevados. Los daños que percibieron estas infraestructuras han sido desacoples en las líneas de aducción y problemas en los tableros eléctricos de los arrancadores de las bombas. Por su parte, dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales, en las lagunas de estabilización se presentaron daños en los taludes de los límites de las piscinas, desplazamiento de las estructuras de transporte de agua residual entre las lagunas y perjuicios en las geomembranas.

Foto 2.8 Daños en piscinas de estabilización



Fuente: EPAM (2016)

2.1.5 Alianza estratégica entre EPAM y VEOLIA

El 13 de septiembre de 2017 la Empresa Pública Aguas de Manta y consorcio VEOLIA Proactiva firmaron un contrato para una alianza estratégica, cuyo fin, según la página web de EPAM, era fortalecer el modelo de gestión de EPAM. El contrato se firmó por un plazo de diez años de cooperación entre las dos instituciones, con una inversión de 12 millones de dólares. Este presupuesto serviría para el mejoramiento de las redes de agua potable, reparaciones en redes de agua potable y saneamiento, salas de control con sistemas scada para monitoreos en tiempo real, planillado y distribución de estas, toma de lecturas y reducción de los tiempos de cortes debidos a reparaciones (EPAM 2017).

Esta decisión fue influida por las consecuencias del terremoto descritas, donde la provincia de Manabí fue declarada en estado de excepción por 60 días. Lo que se pretendía era recuperar las actividades diarias y la dotación continua de servicios de agua potable y saneamiento, por cuanto, este sector se declaró en emergencia. Esto, considerando la capacidad que otorga la ley orgánica de Empresas Públicas que poder asociarse para el cumplimiento de sus fines empresariales, se da esta alianza estratégica con VEOLIA (ISP 2018).

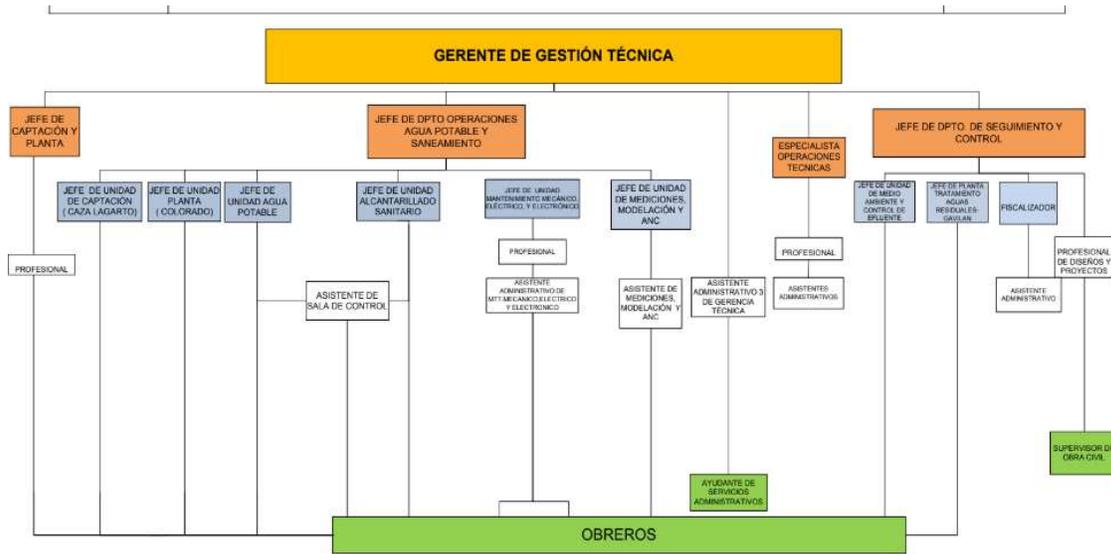
Entre los fines de esta alianza se encontraban: alcanzar continuidad del servicio en el primer semestre del 2019; reducir los índices de agua no contabilizada (ANC); alcanzar la sostenibilidad financiera a través del aumento de la facturación y optimización de costos operativos; mejorar la calidad de los servicios, así como la gestión técnica y comercial; la transferencia de conocimientos y el fortalecimiento empresarial (EPAM 2017).

Aunque durante la firma del convenio se dijo que la alianza está sustentada en la eficacia y eficiencia, no en la privatización del servicio o concesión, porque está prohibido por la Constitución, la administración actual del gobierno autónomo descentralizado (GAD) de Manta dio por finalizado el contrato con VEOLIA, aduciendo que el aporte de la multinacional no favorecía a la ciudad (El Diario 2021). Asimismo, la empresa multinacional interpuso una demanda a EPAM por un monto de 20 millones de dólares por incumplimiento de pagos planillados por trabajos como mantenimientos y reparaciones de redes, entre otros rubros. El alcalde Intriago según recoge el portal de El Diario, aseveró que los costos del trabajo de VEOLIA superan por mucho la capacidad de pago de EPAM (El Diario 2020).

2.1.6 Estructura organizacional de EPAM y funciones

El cuadro a continuación mostrado ha sido compartido por parte de la oficina de coordinación de EPAM. En este se muestra el organigrama de EPAM que tiene que ver con la gestión de aguas residuales.

Figura 2.7 Organigrama EPAM asociado a aguas residuales



Fuente: EPAM (2021)

La EP-AGUAS de Manta, en su orgánico funcional cuenta con una Gerencia técnica. Esta a su vez cuenta con un departamento técnico de Operaciones de Agua Potable y Saneamiento donde se encuentra una Jefatura de alcantarillado Sanitario, quien es el encargado de todo lo relacionado a las redes de AASS y su operación. Así mismo, se cuenta con una Jefatura de Medio Ambiente y Control de Efluentes quienes entre sus responsabilidades está: velar por el cumplimiento, control y gestión del proceso de tratamiento lagunar y con todo lo que atañe al control ambiental. En lo referente al control ambiental en la ciudad la empresa tiene sus competencias por el mal uso de las redes hidrosanitarias. Por otra parte, cuando es un tema de contaminación a un cuerpo de agua dulce se trabaja de la mano con la dirección del GAD Municipal y el concejo provincial la dirección ambiental de acuerdo con las competencias que tiene cada entidad.

En la tabla 2.1 se muestra una síntesis de las administraciones a nivel de alcaldía de lo que ha realizado EPAM durante esos períodos. La división no se la hace en función de los Gerentes que ha tenido EPAM debido a que la planificación de las actividades va a la par de la planificación desarrollada por cada administración.

Tabla 2.1 Gestión de las administraciones de EPAM

Administraciones	Período	Gestión
Jorge Zambrano Cedeño	1996-2000; 2000-2005; 2005-2009	La empresa Pública Aguas de Manta, mantiene un Primer Plan Maestro Hidrosanitario que se realizó en el año de 1999-2000, en el se realizaron todos los estudios necesarios que requería la ciudad de Manta, en función a las necesidades y crecimiento poblacional de la misma. Del año 2000 al año 2010 se realizaron pequeños proyectos a los que se denominaron “Planes Emergentes” los cuales se realizaron con recursos propios de la empresa.
Jaime Estrada Bonilla	2009-2014	En el año 2010-2014 se realizó la Primera Etapa del Plan Maestro Hidrosanitario proyectos que comprendía mejoras en la estructura de las plantas y estaciones, así como redes hidrosanitarias en ciertos sectores donde ya se encontraba redes vetustas, estas obras fueron financiadas por el BDE. En el año 2015-2016 se realizaron la actualización de los estudios del Plan Maestro segunda etapa, en función al crecimiento poblacional y las condiciones de ciudad.
Jorge Zambrano Cedeño	2014-2019	En noviembre del 2016 se iniciaron las obras de la segunda Etapa del Plan Maestro Hidrosanitario, donde un grupo de obras fue realizado por el Banco Mundial a través de un crédito de condiciones preferenciales de 100 millones de dólares. En el año 2016 con el terremoto ocurrido el 16 A, se obtuvieron fondos no reembolsables que se dividieron en dos fases; La Fase 1 realizada en el año 2017 por Ecuador Estratégico donde se dieron mejoras en la infraestructura afectada por el terremoto. En el año 2019 la ciudad de Manta se declaró en emergencia donde se logró enmarcar la realidad y necesidad urgente de intervenir los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial del cantón, donde se gestionó y logró un préstamo por parte del BDE de 15MM.
Agustín Intriago Cedeño	2019- Actualidad	La Fase 2 del crédito arriba mencionado que actualmente se gestiona con el Banco Europeo de Inversiones para la construcción de una Nueva Planta Potabilizadora y reconstrucción de redes hidrosanitarias las cuales se encuentran en proceso de adjudicación. Actualmente se está trabajando en la actualización de los estudios de la tercera fase del plan maestro hidrosanitario, que apunta a las zonas de expansión de acuerdo con el crecimiento de la ciudad, emisario submarino y planta desaladora, donde se trabaja con organismos externos como lo es CAF Y AFD.

2.1.7 Hitos en la gestión de la EPAM en el periodo 2015-2021

A través del trabajo conjunto y préstamo del Banco Mundial se ponen en marcha los trabajos correspondientes al Plan Maestro Hidrosanitario, en sus fases Hidro I e Hidro II. Los trabajos realizados en estas etapas se los detalla a continuación (EPAM 2021):

Para mejorar la continuidad del servicio de suministro de agua en la parroquia Tarqui, Los Esteros y Par Vial, se rehabilitaron las redes en este sector, implementando una estructura hidráulica más resiliente en lo que respecta a las principales aducciones y acueductos. Las redes también se sectorizaron, es decir, son circuitos hidráulicamente controlados, lo que permite hacer seccionamientos para realizar reparaciones y/o mantenimientos. Dado que se instalaron tuberías nuevas la vida útil de la red se mejora, así como el índice de roturas disminuye a la par. Por otra parte, esta rehabilitación ha permitido disminuir los porcentajes de ANC de un 60-65 % a un 20-25 %.

Se han construido tres nuevos tanques de reserva con una capacidad de 2 500 metros cúbicos (m³) que se ubicarán en las estaciones Santa Martha (parroquia Manta), Azúa (parroquia Tarqui y Los Esteros) y Colorado (parroquia Eloy Alfaro). Sumados a la capacidad de reserva actual de 22 500 m³ se logra alcanzar una capacidad total de reserva de 30 000 m³. De esta forma se puede amortiguar las horas de demanda máxima de agua evitando periodos de discontinuidad del suministro, además de mejorar la presión del sistema y el estrés de la red. La construcción de estos tres tanques vino acompañada de una reconfiguración de la distribución y control de caudales de entrada y salida de las estaciones donde se instalaron. Con ello se logra mejorar la gestión de los macro sectores hidráulico del área de servicio. Todas estas nuevas incorporaciones son controladas a través del sistema SCADA que permite el monitoreo en tiempo real los niveles de reserva.

Dentro de las obras realizadas como parte del plan hidrosanitario y con apoyo financiero del Banco Mundial, se ha realizado la repotenciación de las estaciones de bombeo de agua potable Ceibal y de agua cruda Caza Lagarto y Río de Oro. Debido a los años de operación de estas estaciones se estaba perdiendo eficiencia en los grupos de bombeo lo cual perjudicaba el caudal de agua que llega a la ciudad, acrecentando el desbalance hidráulico

debido a que la demanda de agua potable supera a la disponibilidad de esta. Con estas mejoras se generan diariamente 20 000 m³ de agua potable por día en Colorado, mejorando la disponibilidad del recurso para la parroquia Eloy Alfaro. Por su parte el agua bombeada desde El Ceibal ha pasado de 62 000 m³ a 72 000 m³ lo que provoca mejorar los índices de continuidad para las parroquias Manta, Tarqui y Los Esteros y el aumento de horas de servicio en los sectores conocidos como cola de red, en otras palabras, aquellos sectores más alejados dentro de la red de distribución de agua.

Por otra parte, la estación de bombeo Umiña recibe las aguas negras domésticas de las viviendas ubicadas en el perfil costero de la ciudad de Manta del sector sur específicamente. A diario bombea aproximadamente un total de 2000 m³ con dos bombas de 15 hp que actúan alternadamente. Debido a su ubicación en la playa murciélagos, esta estación de bombeo se ha venido deteriorando por los altos niveles de salinidad, desacople de tuberías y los oleajes que hacen que se metan arenas y piedras a las bombas perjudicando su operación. Estas afectaciones generan un impacto ambiental significativo ya que se dan reboses y desprendimientos de aguas servidas en este lugar.

Como parte del plan hidrosanitario se trabaja en la actualidad en la construcción de 7 estaciones de microbombeo que permitirán eliminar a la estación de bombeo Umiña. Con la construcción de esta infraestructura se evitará los reboses de agua servida directamente a la playa, y estas aguas se transportarán hacia las lagunas de oxidación.

Foto 2.9 Estación de bombeo Umiña



Fuente: EPAM (2021).

Luego del terremoto se ejecutó un proyecto de emergencia cuyo objetivo era aislar el sector de Tarqui que fue el más afectado por el sismo para de esta forma evitar el desperdicio de agua debido a las roturas y fugas en las tuberías, lo que permitiría abastecer a los sectores adyacentes a esta zona, considerada como la zona cero del terremoto en Manta. Los trabajos resultaron tener mayor dificultad ya que en esta parroquia están las redes más antiguas y no se contaba con un catastro actualizado y real. Como se lo mencionó anteriormente las redes fueron seccionadas y se pudo aislar la zona cero.

Finalmente, se reemplazó los colectores de aguas lluvias y aguas servidas, que ya habían cumplido su periodo de vida desde hace muchos años atrás lo cual se constataba en una marcada contaminación ambiental y emisión de malos olores, siendo focos de insalubridad para la ciudadanía. Con la incorporación de los nuevos colectores se dio fin a los desbordes y descargas de aguas residuales, mitigando de esta forma la contaminación ambiental.

Con la promulgación de la declaratoria de emergencia de la infraestructura sanitaria se realizan intervenciones en los cauces del río Manta y Burro, con un monto total invertido de más de un millón trescientos mil dólares. Las actividades ejecutadas fueron limpieza de los cauces, identificación de infraestructura desacoplada, reposición de infraestructura,

identificación y taponamiento de tuberías de descarga clandestinas. Con estas actividades se ha logrado mejorar la capacidad hidráulica de los ríos intervenidos.

Foto 2.10 Limpieza del cauce del río Manta



Fuente: EPAM (2021).

A pesar de los esfuerzos realizados por parte de EPAM, GAD de Manta y Consejo Provincial de Manabí, esto no generó el impacto esperado en la ciudadanía de crear conciencia pues se evidenció que, terminados los trabajos, fueron arrojados hacia los cauces fundas de basura. No obstante, estos trabajos sirvieron para que durante el período invernal del 2020 los cauces no se desbordaran y provocaran inundaciones (EPAM 2021).

Por otra parte en la actualidad, y en relación particular a la competencia en la provisión de los servicios de agua potable y saneamiento, la alcaldía de Manta en conjunto con su Empresa Pública Aguas de Manta (EPAM) planifican su intervención a través del Programa Fase III del Plan Maestro Hidrosanitario de la ciudad de Manta, el mismo que se encuentra en etapa de consultoría. El estudio se basa en un balance hídrico para el cantón, a partir del cual se determinarán proyectos específicos como la construcción de una nueva planta de agua potable denominada "Planta Manta". Se proyecta que agregará 30 000 m³/día, adicionales al

sistema de distribución, especialmente para las zonas periurbanas, en particular las de expansión actual.

Otro proyecto que contribuye a la sostenibilidad del sistema de agua potable, vinculado a la optimización de la gestión de la demanda, corresponde al programa de reducción del Índice de Agua No Contabilizada, aportando mejoras integrales en la prestación del servicio que coadyuvan a la ampliación de la cobertura para llegar a quienes no cuentan actualmente con acceso a agua potable.

En cuanto a temas de saneamiento, se llevan a cabo proyectos dirigidos a incrementar la cobertura del alcantarillado, como por ejemplo y de manera específica la "Construcción de Infraestructura Sanitaria en el Sector del Porvenir Altos II", iniciativas que se van complementando con la repotenciación continua del sistema de alcantarillado para todo el cantón, al igual que medidas que permiten avanzar en acciones concretas de saneamiento y tratamiento de los efluentes, con una visión a largo plazo de mejora ambiental y calidad de vida de la población.

Además, existe un estudio con fondos de la CAF cuyo alcance contempla la realización de todos los estudios técnicos necesarios que permitan el diseño definitivo de los sistemas de agua potable y saneamiento en las zonas de expansión de la ciudad de Manta, que contribuya a garantizar el acceso adecuado a los servicios de agua potable; así como recolección, conducción y disposición final de las aguas residuales y pluviales. De igual manera, se busca identificar las conexiones de aguas residuales que actualmente descargan de manera irregular a los ductos de aguas lluvias, principalmente en las zonas bajas de la ciudad, para encontrar la solución que permita su conducción a sistemas de aguas residuales y evitar que estas aguas lleguen hasta las playas del cantón. Esta solución permitirá sanear el perfil costero de la ciudad y contribuir el desarrollo sostenible de la ciudad.

2.2 Estrategias para mejorar la gestión de las aguas residuales bajo un enfoque de adaptación climática

En este apartado, se introducen dos estrategias como parte del objetivo dos de esta tesina, donde se desarrolla la relación entre la eficiencia energética y la gestión del agua, así como la gestión del agua como energía. Además, la gestión del agua para la industria pesquera, pues este componente es el que más estrés genera sobre las aguas residuales.

2.2.1 La eficiencia energética y la gestión del agua

El agua, la energía y los alimentos son recursos vitales globalmente y que están interconectados en un sistema complejo, en el que cualquier alteración conduce a resultados inesperados. Es por ello, que se ha propuesto el enfoque nexo agua energía para asegurar la sostenibilidad de estos recursos a través del estudio de sus interrelaciones (Purwanto et al. 2019)(A. Purwanto, J. Susnik y F. Suryadi, y otros 2019). Asimismo, la relación energía para agua se la define como la cantidad total de energía requerida para que el agua alcance los niveles de calidad necesarios para ser distribuida y para tratarse luego en su disposición final. Mientras que la relación agua para energía expresa que es la cantidad total de agua requerida para producir energía.

Existen cinco fases claves en los sistemas urbanos de agua, los cuales son: captación de agua cruda, potabilización, distribución, consumo y tratamiento de aguas residuales. Cada fase tiene requerimientos asociados de energía. En la primera, se necesitan de equipos de bombeo para la extracción de agua de los ríos y presas, y su transporte hacia las plantas de potabilización. En la planta potabilizadora se necesita de energía para tratar el agua cruda y convertir en agua apta para el consumo humano. Esta agua potabilizada es bombeada y distribuida a los distintos usuarios esparcidos en el área de cobertura. A nivel de consumo se utilizan bombas para el uso del agua almacenada en los reservorios de las casas, o para llenar reservas en las industrias. Una vez que el agua se ha usado, ésta es descargada a las redes de aguas servidas, para luego bombearse a las piscinas de oxidación y finalmente transportada hacia los cuerpos de agua, donde en todos estos procesos se requiere el uso de energía (Siddiqui y Weck 2013).

Para el caso de Manta en la fase de captación de agua el uso de energía es intensivo dadas las distancias que debe transportarse el agua. Los valores consignados por consumo energético según el personal de coordinación de la EPAM llegan a ser de alrededor de un 40 % de los ingresos totales de la empresa. Esto disminuye los recursos económicos disponibles para las inversiones requeridas. Por lo que, las mejoras que se hagan en cuanto a la eficiencia energética, en términos de ahorros de consumo de agua o de energía, se convierte directamente en una reducción de costos y también en un incremento de la eficiencia económica (Ferro y Lentini 2015).

El crecimiento económico conlleva un incremento en la demanda de energía y como se ha visto en el enfoque Nexo está interrelacionada directamente con el agua. Además, el crecimiento de la población demanda también de más servicios de agua potable y saneamiento y, por consiguiente, se dará también un mayor consumo energético. Se presentan condiciones que aumentan esta condición. Por ejemplo, que las fuentes de suministro de agua cruda estén muy lejanas, que el sistema esté subdimensionado, entre otros que significan un esfuerzo energético mayor (Ferro y Lentini 2015). Entre las medidas que se pueden adoptar para la optimización del nexo agua energía, esto es, mejorar el ahorro de los recursos y la eficiencia energética se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2.2 Oportunidades de mejora de eficiencia energética

Medidas por el lado de oferta	Identificación de medidas	
	Medidas por el lado de la demanda	Enfoque comprehensivo (sinergias entre demanda y oferta)
Reducción de fugas y control de pérdidas	Equipamientos residenciales e industriales más eficientes	Dimensionamiento correcto de los sistemas de bombeo en conjunto con haber logrado disminución de consumo en el lado de la demanda
Reparaciones y mantenimientos de cañerías	Control de pérdidas	Reducción de las aguas residuales y promover tratamiento de estos para reúso.
Sistemas más eficientes de bombeo	Inodoros de bajo flujo	Generación de energía a partir del biogás
Mejor control del tratamiento de las aguas residuales y control de lodos	Reúso industrial del agua	

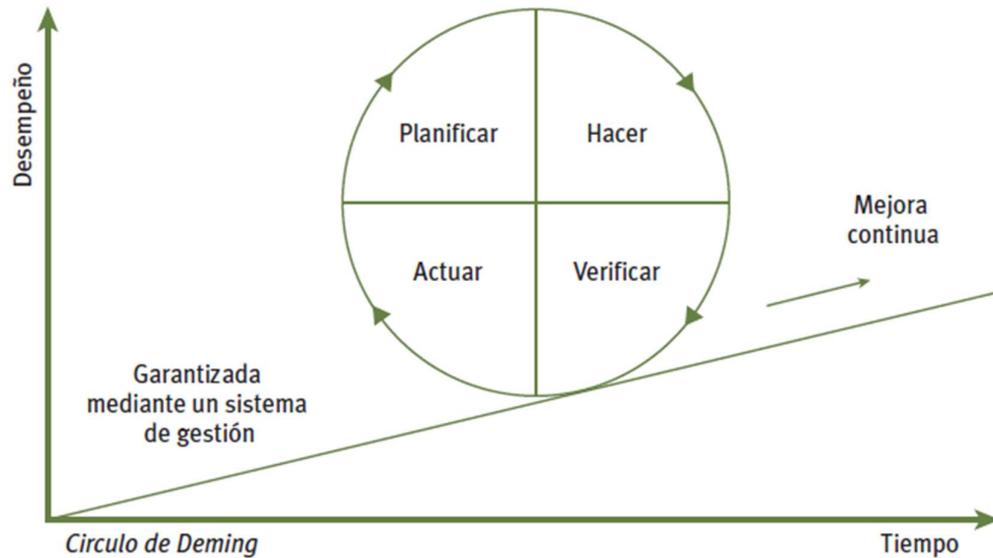
Fuente: adaptado de Ferro y Lentini (2015,23).

2.2.2 Gestión del agua como energía

La adopción de un estándar dentro de una organización, en este caso la EPAM, resulta en que se puedan efectuar las actividades de una forma estructurada, responsable y eficiente para poder alcanzar la certificación (Walsh, Murray y O'Sullivan 2015). Para el caso del estándar ISO 50001 Sistema de Gestión Energético, se trata de lograr a través de esta certificación: seguridad energética, desarrollo económico y competitividad, contribuir con la mitigación y adaptación al cambio climático, reducir la contaminación y mejorar la salud pública. La energía es un recurso que puede gestionarse y al hacerlo se logran beneficios como la reducción de los costos y el incremento de la competitividad (CONUEE 2016).

Un sistema de gestión energético (SGEn) consiste en una metodología para lograr mejoras sostenidas del desempeño energético de las organizaciones de una forma costo efectiva. La implementación de esta no debe verse como un fin, sino como un cambio en la cultura organizacional con el fin de mejorar el desempeño energético. Por ello, la efectividad de su aplicación depende entonces del grado de compromiso de la organización, así como de la disponibilidad de los actores. Las capacidades técnicas de las empresas de servicios públicos también están relacionadas con el capital humano y la infraestructura disponible. Por ello, la gestión de los usos de la energía y la reducción de costos debido a los ahorros alcanzados están directamente relacionados a los cambios necesarios que se deben aplicar en el día a día para promover estas mejoras (CONUEE 2016).

Figura 2.8 Visión general del sistema de gestión de la energía



Fuente: UNIDO (2015).

Para la implementación de un SGE se vuelve entonces imprescindible conocer cómo se está usando la energía y cuáles son los usos significativos de esta. Los usos significativos corresponden a qué sector de la cadena de producción. Para el caso en estudio de las aguas residuales, qué parte del sistema tiene el mayor consumo energético. Una vez identificado, se debe relacionar el consumo energético con la producción, porque se vuelve imprescindible tener sistemas de medición. En el caso de una estación de bombeo, por ejemplo, se debería conocer cuál es la cantidad de agua que se está bombeando y poder comparar con un registro histórico de consumo para poder identificar oportunidades de mejora que implican no solo la sustitución o emplazamiento de nuevos equipos, las que requieren mayor inversión, sino que también pueden consistir en mejoras operacionales que ayudarán la organización a obtener ahorros energéticos.

2.2.3 Gestión sostenible del agua en la industria pesquera

En los países en desarrollo, la capacidad industrial de generar efluentes es mucho mayor a la capacidad de las instituciones encargadas de la gestión de agua residual de tratarlas. Por lo que se debe dar mayor atención a los arreglos institucionales como la gobernanza para

resolver e implementar políticas y cambios que faciliten la adopción de medidas en aras de lograr una reducción de la contaminación ambiental y problemas asociados al cambio climático (Gómez-Sanabria et al. 2019)(Gómez-Sanabria, y otros 2019).

El procesamiento de pescado comprende tres fases: refrigeración de pescado, enlatado y procesamiento de harina de pescado. En la planta frigorífica donde sucede el primer paso. El proceso consiste en lavar el pescado con agua salada y clasificarlo para su venta en cajas empacadas con hielo. Durante el proceso de enlatado se tiene tres subprocesos principales los cuales son: cocción, lavado y enlatado. Finalmente, para el proceso de harina, se cocina el pescado, se lo prensa y muele. Las aguas residuales resultado de este proceso contienen una mezcla de sustancias orgánicas, nutrientes, aceite y grasas (Gómez-Sanabria et al. 2019)(Gómez-Sanabria, y otros 2019).

Sin una coordinación apropiada en contexto, las políticas que busquen mejoras pueden más bien generar una desalineación entre los actores involucrados y los esfuerzos pueden verse reducidos a solventar problemas singulares y no sistémicos. Por ello, la transición hacia formas de gobernanza hacia modelos multi nivel, intersectoriales y con la participación de múltiples partes interesadas puede coadyuvar a la identificación de las deficiencias de los controles actuales sobre los efluentes de estas industrias, y al mismo tiempo abrir nuevas perspectivas para el desarrollo de nuevos marcos normativos, con políticas enfocadas en múltiples objetivos y fundamentalmente aterrizadas dentro de los contextos donde se implementarán (Gómez-Sanabria et al. 2019)(Gómez-Sanabria, y otros 2019).

Es posible cuantificar los resultados de aplicar la normativa vigente de una forma más rigurosa y medir la cantidad descargada de efluentes por parte de las industrias pesqueras, quienes están obligadas al uso de estos medidores de aguas residuales. Además, como se ha notado anteriormente, esta industria no sólo usa agua suministrada de la red pública, sino que se abastece de tanqueros y de agua salada, por cuanto tienen un volumen alto de descarga de efluentes hacia la red de saneamiento. Por último, todas las descargas que las empresas hagan deben ser debidamente medidas, ya que estas suelen tener descargas clandestinas a la red las cuales no son ni previamente tratadas ni medidas por la EPAM. Con esto se logrará mejorar la calidad del tratamiento de las aguas residuales y reducir los niveles de contaminación de Manta.

2.3 Resultados de la aplicación de la estrategia metodológica al estudio de caso

En este apartado se ve los hallazgos de la aplicación de la estrategia metodológica al caso indicado. Primero se hace un análisis de la gobernanza de las aguas residuales en Manta y segundo se modela las interrelaciones que existen en la gestión del agua residual, la participación del sector industrial, así como el análisis de alternativas de mejora en un diagrama de bucles causales.

2.3.1 Gobernanza del agua residual en Manta

Una vez descrita la gestión del agua potable y residual en Manta, además de la alianza estratégica realizada con la empresa VEOLIA, los efectos del terremoto del 16 de abril de 2016 y las mejoras en la infraestructura; en este apartado se hace un análisis de la gobernanza del agua residual en Manta, atendiendo al primer objetivo específico de este estudio.

La alianza estratégica entre EPAM y VEOLIA, aunque si bien se vendió con un mensaje de que la participación de este actor incrementaría la eficiencia del sistema, se puede observar que esta delegación de funciones no dio resultado debido a factores como una baja coordinación entre las dos empresas, así como sobrepagos en los rubros de mantenimiento que superan la capacidad financiera de EPAM, los cuales no fueron debidamente socializados durante la firma del contrato de la alianza. Además, el proceso de la firma del contrato se vio acelerado en parte para poder contrarrestar los daños causados por el terremoto del 16 de abril de 2016.

Considerando las mejoras que se han dado en la construcción de infraestructura, se puede decir que, tras la finalización de la alianza, se ha buscado alcanzar intereses colectivos como la reducción de la contaminación ambiental y la frecuencia con la que reboses de agua residual se daban, afectando al perfil costero. Es decir, se ha considerado una gobernanza climática adaptativa que, a través de la robustez de la infraestructura, busca hacer frente a la incertidumbre proveniente del cambio climático.

A través de alianzas con organismos internacionales de financiamiento como el Banco Mundial y CAF, la ciudad de Manta ha obtenido los recursos necesarios para emprender trabajos de mejora de las infraestructuras existentes, así como de la construcción de nueva infraestructura. Además, la nueva infraestructura es planificada de forma integral entre el agua potable y las aguas residuales. Sin embargo, aún no es considerada dentro de los análisis los usos intensivos energéticos asociados.

Las descargas clandestinas del sector industrial generan muchos problemas al sistema de aguas residuales, debido a que al no medirse estos efluentes no pueden ser cobrados y segundo porque la carga contaminante de estos es muy fuerte y supera a la capacidad de tratamiento de las lagunas de oxidación. En este caso, y considerando que el bypass a la normativa vigente es deliberado, se puede observar cómo uno de los actores ejerce supremacía sobre la institución local. Poder que atenta no sólo sobre los objetivos colectivos, sino que desestima el derecho a la ciudad y a un ambiente sano del resto de actores sociales que aspiran a una ciudad más justa y sostenible.

Una vez mencionado lo anterior, se puede decir que la gobernanza de las aguas residuales de Manta es un sistema complejo, debido a las interrelaciones entre los distintos actores; es diverso, porque el poder que ejercen los actores es distinto entre el sector industrial y residencial; es dinámico, ya que las medidas tomadas para la mejora de la gestión del agua residual como la construcción de infraestructura y detección de descargas clandestinas generan cambios que deben ser evaluados en miras de continuar mejorando la gestión de este sector.

Por último, y como recomendación, todas las descargas que las empresas hagan deben ser debidamente medidas, ya que estas suelen tener descargas clandestinas a la red pública, las que no se tratan previamente, como tampoco se miden y debido a su carga contaminante no pueden ser debidamente depuradas en lo posterior por parte de la EPAM. De integrarse estas observaciones podría mejorarse la calidad de los vertidos de las aguas residuales y reducir así los niveles de contaminación de Manta. Con una apropiada medición de los efluentes, EPAM podría aumentar su recaudación y usar esos recursos en reingeniería de procesos como la consolidación de los servicios prestados. Todo esto, enmarcado por la gobernanza multi nivel, intersectorial y la participación de todas las partes interesadas para que las políticas estén contextualizadas y las soluciones sean sistémicas.

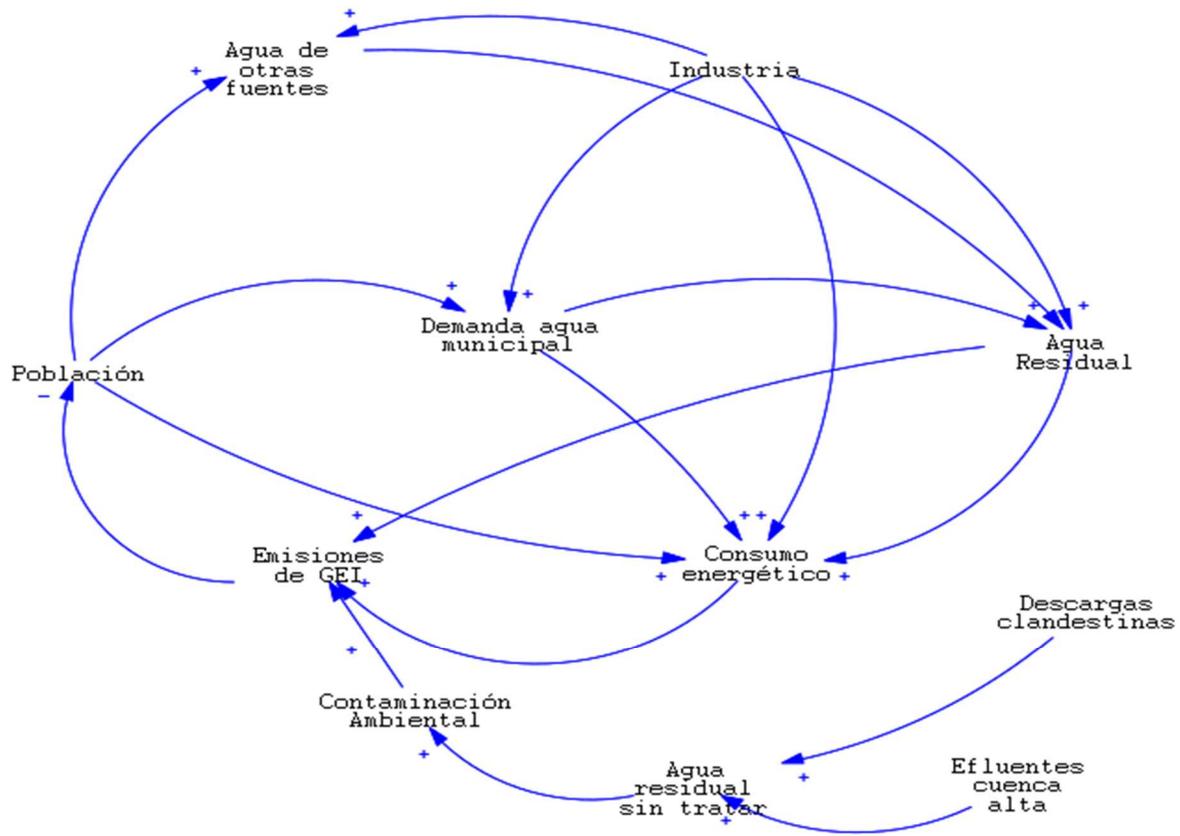
2.3.2 Diagrama de bucle causal

En la gráfica se presenta el diagrama de bucle causal de la gestión del agua en Manta. El autor de esta tesina construye este modelo en función de los datos recibidos por parte de EPAM, así como de las entrevistas y discusiones con parte de su personal técnico y de planificación de esta entidad, de esta forma se establecen las distintas interrelaciones dentro del sistema. Además, para la construcción se consideran los modelos desarrollados en (Purwanto et al. 2019)(A. Purwanto, J. Susnik y F. Suryadi, y otros 2019), (Keyhanpour, Habib y Ebrahimi 2020) y (Gozini, Zahraie y Ravar 2020).

El modelo desarrollado permite forjar un sentido del todo y sus partes, como llevar la trazabilidad de las interrelaciones causales al interior del sistema. Asimismo, permite responder a cómo el cambio en uno de los componentes afecta a los otros, y a su vez, qué medidas pueden crear sinergias entre el agua y la energía e impactar positivamente a ambas, disminuyendo las compensaciones negativas entre estos.

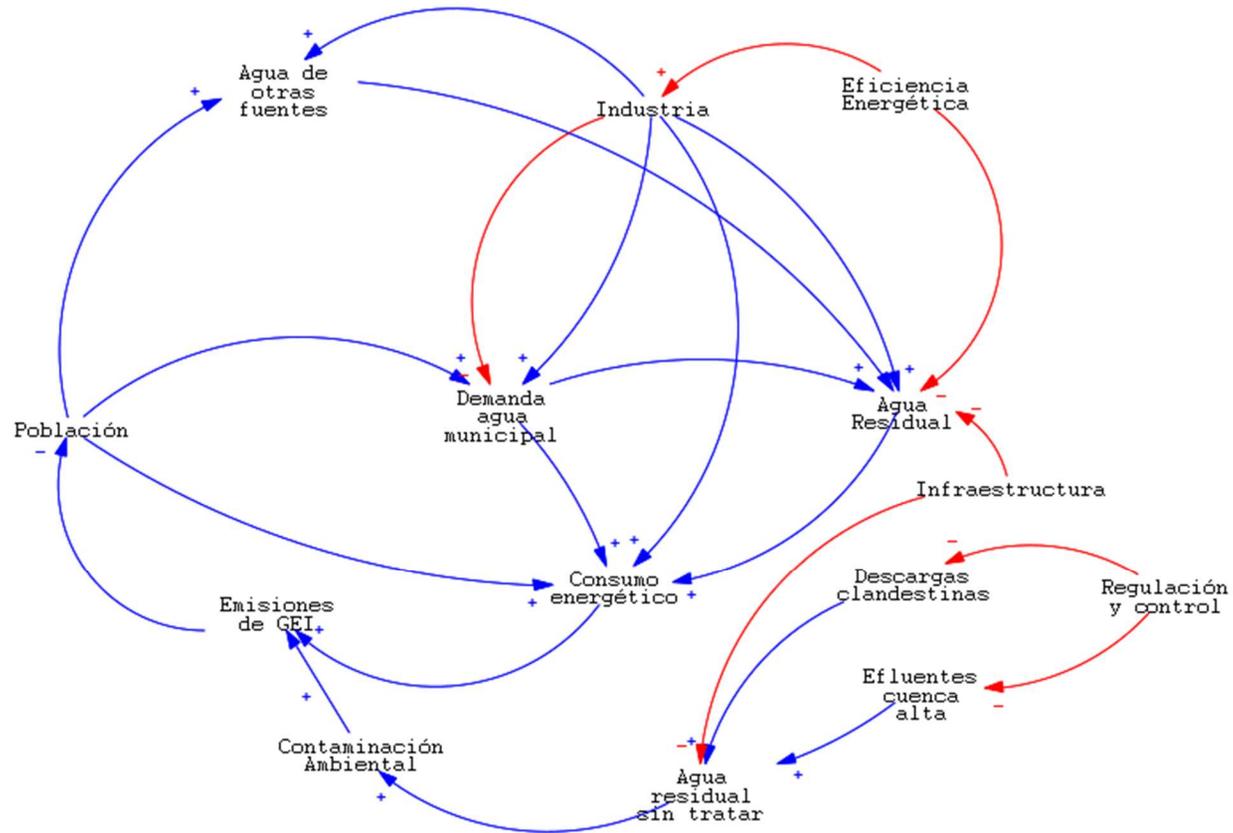
En el diagrama se muestran a las variables del crecimiento poblacional; la industria, representando fundamentalmente a la pesquera por su influencia en las descargas de aguas residuales, la demanda de agua municipal; la generación de agua residual y su tratamiento; los flujos de agua residual que se quedan sin tratar que son causados fundamentalmente por los efluentes de la cuenca alta y descargas clandestinas; el consumo energético, las emisiones de GEI y contaminación ambiental asociados a este sistema. Lo anterior descrito se encuentra relacionado a través de las flechas de causalidad de asociación positiva en azul. Finalmente, se usa el sistema modelado para visualizar la incidencia que tendrían mejoras como la eficiencia energética, la construcción de infraestructura y mayor control las cuales son mostradas con flechas rojas.

Figura 2.9 CLD Gestión del agua y el nexo con la energía



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.10 Mejoras propuestas a la gestión del Nexo



Fuente: Elaboración propia

Un crecimiento en la población implica un crecimiento en la demanda de agua y el consumo de esta, así como el consumo energético. Por su parte, un aumento en la capacidad de la industria genera también un aumento de la demanda de agua. El crecimiento de la industria incide también en el crecimiento del empleo y por tanto se genera mayor desarrollo económico. En una ciudad donde existe empleo existirá mayor migración hacia esta, aumentando la población, lo cual es mencionado en el apartado 2.1.1. Los incrementos que se registran de la demanda de agua generan también incrementos en la cantidad de agua residual generada y que debe tratarse en la PTAR. El consumo energético se incrementa debido a la acción de las bombas para bombear más agua potable y consecuentemente más agua residual para tratarse.

El agua residual sin tratar crece debido a las descargas de efluentes en las partes alta de la cuenca, fuera de los límites de Manta, así como también de las descargas clandestinas que evacúan directamente en los cauces de los ríos Manta y Burro. Tanto las aguas residuales tratadas en la PTAR como las aguas residuales sin tratar generan GEI. Las aguas residuales sin tratar no solo generan GEI sino que pueden originar vectores y enfermedades asociadas. Las emisiones generadas por la energía sumadas a las generadas por las aguas residuales en general reducirán inversamente la calidad de vida y condiciones de salud a los habitantes, como lo demuestra la polaridad negativa del enlace causal.

Por otra parte, como soluciones se propone la adopción de estándares de eficiencia energética no solo a nivel de EPAM sino también a nivel de la industria. La aplicación de eficiencia energética a nivel del sistema provocará una disminución de las aguas residuales a ser tratadas, lo cual disminuirá tanto el consumo energético, como las emisiones de gases de efecto invernadero no perjudicando a la población. Para el caso de la adopción en la industria de la eficiencia energética, esto generará que, aunque la producción suba la demanda de agua y energía no lo haga, por ende, esta mejora no derivará en una mayor producción de aguas residuales. Asimismo, mejoras en la regulación y políticas, así como la construcción de infraestructura incidirán en una disminución del agua residual sin tratar generando no solo las mejoras previamente descritas, sino que también una mejor recaudación por descargas de efluentes. Estos recursos se podrán usar para seguir fortaleciendo el sistema y volviéndolo más resiliente al cambio climático.

Para estudios posteriores, esta primera aproximación puede ser la base para plantear un modelo cuantitativo con mayor detalle, donde se analizaría nodos y conexiones entre agua residual, la cantidad de energía asociada y GEI producidos para dar mayor aplicabilidad al modelo presentado. Asimismo, se debe considerar los retrasos en los efectos de las acciones, dado que algunas medidas pueden tardar mayor tiempo en hacerse efectivas. Se puede también involucrar en el análisis a las partes altas de la cuenca que están en Montecristi. Se recomienda se pueda plantear un Consejo de Cuenca que sea coercitivo entre los cantones que son parte de las cuencas de los ríos en estudio. De esta forma y usando el enfoque Nexo se puede lograr soluciones holísticas al problema de las aguas residuales de Manta.

Conclusiones

La aplicación del enfoque Nexso dentro del análisis de los sistemas de gestión permite tener una evaluación más completa del sistema. Su esencia multi sectorial permite incluir la variable del uso energético dentro del estudio lo cual enriquece el análisis para las tomas de decisiones futuras, así como para la determinación de las relaciones y sinergias entre estos dos sectores. El método más apropiado para poder mapear estas interacciones es la dinámica de sistemas ya que con este se puede comprender cuáles serán las reacciones que provoquen los distintos comportamientos tanto actuales, así como de futuras intervenciones a través de los ciclos de retroalimentación. A través de una modelación en diagrama de bucles se puede integrar las variables que intervienen y determinar la influencia que tienen sobre las otras variables ya sea para reforzar o balancear comportamientos, además de proveer un mejor entendimiento del sistema e identificación de vínculos críticos para el enfoque más preciso de las acciones a ser tomadas.

Los requerimientos energéticos de las ciudades y de los sistemas de agua potable y saneamiento pueden verse reducidos a través de la planificación efectiva de estos con un enfoque integrado entre los distintos sectores que la componen. Los sistemas de tratamiento de agua potable y aguas residuales, así como la eficiencia energética, necesitan tratarse de una forma cohesiva, dados los usos energéticos intensivos durante todas las fases del agua, desde su captación y tratamiento, hasta su uso y disposición final. En el caso de Manta, dado que los puntos de captación se encuentran muy alejados de la ciudad, la energía usada en el bombeo de esta agua para llevarla hacia la Planta de Tratamiento de Agua Potable es muy alta. Además, considerando que las estaciones de bombeo de aguas residuales se encuentran en una cota más baja que la Planta de Tratamiento de Agua Residual, el consumo energético para bombear esta agua es igual muy elevado. La implementación de sistemas de gestión energéticos permitirá conocer cómo se está usando la energía a través de mediciones y realizar las respectivas mejoras no solo con modernización de equipos, sino que las mejoras pueden venir en cambios operacionales que lograrán ahorros energéticos para EPAM y por ende reducir los costos asociados a la energía.

La EPAM ha tenido un proceso significativo de adaptación al cambio climático a través de una gobernanza de los recursos naturales en conjunto con actores internacionales de

financiamiento. Medidas como la construcción de infraestructura nueva en los colectores de aguas servidas y aguas lluvias, la reducción de los índices de agua no contabilizada, así como las detecciones de descargas de efluentes clandestinos pueden describirse como un modo de gobernanza adaptativo. Todas estas acciones han contribuido a mejorar el tratamiento de las aguas residuales, la recaudación por descarga de efluentes del sector industrial y evitar el rebose de las estaciones de bombeo y descargas directas al perfil costero de la ciudad. Sin embargo, no se cuenta con una caracterización detallada de los usos energéticos y su relación en función de la producción de agua residual lo cual evita que se puedan tomar medidas para mejorar la eficiencia energética del sistema de aguas residuales.

Dentro de la gobernanza del agua residual de Manta, se debe cuidar de que los intereses de una parte de los actores no se superpongan a los intereses colectivos y que por ende la institución local que gobierna no pierda la capacidad de coordinar la gestión e implementación de medidas, proveyendo de esta forma un sentido de dirección que pueda ser aceptado por todos los actores al involucrarlos, acogiendo sus saberes. Logrando de esta forma una ciudad más justa y democrática para todos. Un refuerzo institucional en EPAM puede acarrear que se tenga un mejor control sobre las descargas clandestinas que se dan sobre los cauces y que la planificación de las acciones a ser tomadas sean integrales, justas y democráticas. Al ser el agua y el saneamiento derechos humanos universales, lo debe ser también la participación ciudadana en la toma de decisiones.

Es necesario empezar a involucrar dentro del análisis y las acciones lo que sucede en la cuenca alta de los ríos que atraviesan Manta. Esto debido a que a través de estos se hace descarga de efluentes que dependiendo de la estación de clima van a parar directamente en el mar sin ningún tratamiento o se van estancando en las cuencas bajas del río. Lo que genera vectores, malos olores y contaminación ambiental, así como favorece el crecimiento de vegetación que se opone al flujo de las aguas y disminuye la capacidad hidráulica de los ríos.

Lista de abreviaturas

AASS	Aguas Servidas
AFD	Agence Française de Développement
BDE	Banco del Estado de Ecuador
CAF	Banco de Desarrollo de América Latina
CLD	Diagrama de Bucles Causales
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
EPAM	Empresa Pública Aguas de Manta
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
GWP	Global Water Partnership
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
SD	Sistemas Dinámicos

Referencias

- Aguilar, Luis. 2007. "El aporte de la política pública y de la nueva gestión pública a la gobernanza." *Revista del CLAD Reforma y Democracia*: 5-32.
- Anda, José de, y Harvey Shear. 2021. "Sustainable Wastewater Management to Reduce Freshwater Contamination and Water Depletion in Mexico." *Water*: 1-19.
- Araujo, Wanderberg Correia de, Karla Oliveira, y Oz Sahin. 2019. "Building a System Dynamics Model to Support Water Management: A Case Study of the Semiarid Region in the Brazilian Northeast." *Water*: 1-20.
- Argüello, Diana. 2020. *El rol de la gobernanza en la gestión integrada de cuencas y vínculos urbano-rurales para la provisión de agua. Caso: Comité de Conservación de la Cuenca del machángara. Período 2015-2019*. Tesina de Especialización, Quito: FLACSO.
- Avendaño, William, Henry Luna, y Gerson Rueda. 2021. "Gobernanza climática y planificación del desarrollo: una mirada desde la academia." *Redipe*: 529-543.
- Barton, Jonathan. 2008. "Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones." *Revista de Geografía Norte Grande*: 5-30.
- Bernal, Adriana Mora. 2021. "¿Existe el enfoque nexo agua-energía-alimento en el mandato constitucional del Ecuador?" *Revista de Derecho Ambiental*: 193-215.
- Bhaduri, Anik, et al. 2016. "Achieving Sustainable Development Goals from a Water Perspective." *frontiers in Environmental Science*: 1-13.
- Castro, Érika, Juliana Vélez, y Mauricio Madrigal. 2019. "Gobernanza del agua y Consejos de cuenca: análisis desde los derechos humanos al agua y a la participación ambiental." *Opinión Jurídica*: 43-63.
- CONUEE. 2016. *Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía*. Manual, México: CONUEE/ GIZ. Edición en PDF.
- David Genelatti, Linda Zardo. 2015. "Ecosystem-based adaptation in cities: An analysis of European urbanclimate adaptation plans." *Land Use Policy*: 38-47.
- El Diario. "Aún no hay dictamen en el caso VEOLIA." 6 de 12 de 2021. <https://www.eldiario.ec/actualidad/aun-no-hay-dictamen-en-el-caso-veolia/> (último acceso: 10 de 04 de 2022).
- . *Empresa VEOLIA demanda a la EPAM*. 1 de Octubre de 2020. <https://www.pressreader.com/ecuador/el-diario-ecuador/20201001/281719797033393> (último acceso: 12 de Abril de 2022).
- Embid, Antonio, y Liber Martín. 2017. *El Nexo entre el agua, la energía y la alimentación en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL. Edición en PDF.
- EPAM. 2021. *Análisis de muestra tomada en el ingreso de las lagunas de oxidación en el mes de septiembre de 2021*. Análisis, Manta: EPAM.
- EPAM. 2021. "Centenario Manta." Presentación, Manta.
- . *EPAM suscribe alianza estratégica con VEOLIA*. 13 de 09 de 2017. <https://www.epam.gob.ec/epam-suscribe-alianza-estrategica-con-veolia/#:~:text=Los%20representantes%20de%20la%20Empresa,para%20alcanzar%20la%20continuidad%20del> (último acceso: 10 de 04 de 2022).
- EPAM. 2019. *Estudio de Impacto Ambiental para la construcción del sistema de riego "El Gavilán-Refinería del Pacífico"*. EIA, Manta: EPAM.
- EPAM. 2019. "Estudios de factibilidad y diseños definitivos del proyecto para la construcción del sistema de riego 'El Gavilán-Refinería del Pacífico'." Términos de Referencia, Manta.

- . *Finalidades de la Alianza Estratégica*. 20 de 09 de 2017.
<https://www.epam.gob.ec/finalidades-de-la-alianza-estrategica/> (último acceso: 13 de 04 de 2022).
- EPAM. 2021. “Informe de seguimiento a las tuberías de aguas servidas y saneamiento.” Manta.
- EPAM. 2021. *Informe de vulnerabilidad en asentamientos sobre cauces naturales de la ciudad de Manta*. Estudios, Manta: EPAM.
- EPAM. 2021. “Modelo de Gestión.” Manta.
- EPAM. 2016. “Rehabilitación de las lagunas para tratamiento de aguas servidas de Manta Etapa I.” Manta.
- EPAM. 2021. “Resumen ejecutivo de beneficios del Proyecto Banco Mundial.” Resumen ejecutivo, Manta.
- EPAM. 2019. “Términos de referencia para la contratación de una consultoría para los estudios, diagnósticos y diseños definitivos del tratamiento y disposición final de las aguas residuales en la ciudad de Manta.” Manta.
- Escudero, Jesús, Luis Delfin, y Leonor Gutiérrez. 2008. “El estudio de caso como estrategia de investigación en las ciencias sociales.” *Ciencia Administrativa*: 7-10.
- Fainstein, Susan. 2012. “Planificación, Justicia y Ciudad.” *Tribuna urbana*: 7-20.
- Fernández-Vargas, Gabriel. 2020. “La gobernanza del agua como marco integrador para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Latinoamérica.” *U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*: 1-11.
- Ferro, Gustavo, y Emilio Lentini. 2015. *Eficiencia energética y regulación económica en los servicios de agua potable y alcantarillado*. Santiago de Chile: CEPAL. Edición en PDF.
- Flammini, Alessandro, Manas Puri, Lucie Pluschke, y Olivier Dubois. 2014. *Walking the Nexus Talk: Assessing de Water-Energy-Food Nexus in the context of the sustainable energy for all initiative*. New York: FAO. Edición en PDF.
- Flores, Cesar Casiano, Gül Özerol, y Hans Bressers. 2017. ““Governance restricts”: A contextual assesment of the wastewater treatment policy in Guadalupe River Basin, Mexico.” *Utilities Policy*: 29-40.
- GAD MANTA. 2020 “Proceso de Captación y producción del agua de Manta.” Presentación, Manta.
- Gómez-Sanabria, Adriana, et al. 2019. “Sustainable wastewater management in Indonesia’s fish processing industry: Bringing governance into scenario analysis.” *Journal of Environemental Management*: 1-9.
- Gozini, Hamid, Banafsheh Zahraie, y Zeinab Ravar. 2020. “System Dynamics Modeling of Water-Energy Nexus for Resource-Saving Policy Assessment.” *International Journal of Environmental Research*: 349-367.
- Harris, Jordan, Cristóbal Reveco, y Felipe Guerra. 2016. *Gobernanza Climática y Respuestas Locales al Cambio Climático*. Lima: Adapt Chile. Edición en PDF.
- Hewitt, Cynthia. 1998. “Uses and abuses of the concept of governance.” *UNESCO*: 105-113.
- Hughes, James, Katherine Cowper-Heays, Erica Olesson, Rob Bell, y Adolf Stroombergen. 2020. “Impacts and implications of climate change on wastewater systems: A New Zealand perspective.” *Climate Risk Management*: 1-19.
- IPCC. 2008. *Climate change and water*. Geneva: IPCC. Edición en PDF.
- ISP. “¿De quién es el agua de Manta?” 2018. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://coalicionregional.net/wp-content/uploads/2018/03/web_es_agua_manta_informe_2018.pdf (último acceso: 10 de 04 de 2022).

- Keyhanpour, Mohammed Javad, Seyed Habib, y Hosseim Ebrahimi. 2020. "System dynamics model of sustainable water resources management using the Nexus Water-Food-Energy approach." *Ain Shams Engineering Journal*: 1-15.
- Kjellén, Marianne. 2018. "Wastewater Governance and the Local, Regional and Global Environments." *Water Alternatives*: 219-237.
- Kooiman, Jan, Maarten Bavinck, Retana Chuenpagdee, Robin Mahon, y Roger Pullin. 2008. "Interactive Governance and Governability: An Introduction." *The Journal of Transdisciplinary Environmental Studies*: 1-12.
- Martínez, Piedad. 2016. "El método estudio de caso." *Pensamiento y Gestión*: 165-193.
- MIT. *Mapping Causing and Effect*. 10 de 02 de 2022.
<https://campus.mitpeonline.com/courses/207/pages/module-5-content> (último acceso: 03 de Mayo de 2022).
- Pacheco, Raúl. 2014. "Ostrom y la gobernanza del agua en México." *Revista Mexicana de Sociología*, 2014: 137-166.
- Pacheco-Vega, Raúl. 2015. "Gobernanza del agua residual urbana en América Latina. Panorama y reflexiones para una agenda de investigación." En *Agua y ciudades en América Latina*, de Ismael Aguilar-Barajas, Jurgen Mahlknecht, Jonathan Kaledin, Marianne Kjellén y Abel Mejía, 96-102. Nueva York: BID. Edición en PDF.
- Peña, Humberto. *Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL, 2016. Edición en PDF.
- Peters, Guy. 2007. "Globalización, gobernanza y Estado: algunas proposiciones acerca del proceso de gobernar." *Revista del CLAD Reforma y Democracia*: 1-9.
- Peters, Guy. 2009. "Los dos futuros del gobierno: Descentrando y recentrando los procesos de gobierno." *Studia Politicae*: 19-38.
- Peters, Guy, y Jon Pierre. 2012. "Urban Governance." *The Oxford Handbook of Urban Politics*: 1-19.
- Phuong Tram VO, Huu Hao Ngo, Wenshan Guo, Jhon L. Zhou. 2014. "A mini-review on the impacts of climate change on wastewater reclamation and reuse." *Science of the Total Environment*: 9-17.
- Purwanto, Aries, Janes Susnik, F. X. Suryadi, y Charlotte de Fraiture. 2020. "Quantitative simulation of the water-energy-food (WEF) security nexus in a local planning context in Indonesia." *Sustainable Production and Consumption*: 198-216.
- Purwanto, Aries, Janes Susnik, F.X. Suryadi, y Charlotte de Fraiture. 2019. "Using group model building to develop a causal loop mapping of the water-energy-food security nexus in Karawang Regency, Indonesia." *Journal of Cleaner Production*: 1-14.
- Radini, Serena, et al. 2021. "Urban water-energy-food-climate nexus in integrated wastewater and reuse systems: Cyber-physical framework and innovations." *Applied Energy*: 1-16.
- Rasul, Golam, y Bikash Sharma. 2015. "The nexus approach to water-energy-food security: an option for adaption to climate change." *Climate policy*: 682-702.
- Reznik, Ami, Yu Jiang, y Ariel Dinar. 2020. "The Impacts of Climate Change on Wastewater Treatment Costs: Evidence from the Wastewater Sector in China." *Water*: 1-31.
- Rogers, Peter, y Alan Hall. 2003. "Effective Water Governance." *TEC BACKGROUND PAPERS*. Edición en PDF.
- S. H. A. Koop, C. J. van Leeuwen. 2016. "The challenges of water, waste and climate change." *Environ Dev Sustain*, 2016: 385-418.
- Sampieri, Roberto Hernández. 2014. *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill. Edición en PDF.

- Santos, Cristina, Francisco Taveira-Pinto, David Pereira, y Cristina Matos. 2021. "Analysis of the Water-Energy Nexus of Treated Wastewater Reuse at a Municipal Scale." *Water*: 1-16.
- Siddiqui, Afreen, y Oliver de Weck. 2013. "Quantifying End-Use Energy Intensity of the Urban Water Cycle." *Journal Infrastructure Systems*: 474-485.
- Sisodia, Gyanendra Singh, Mridula Sahay, y Pragya Singh. 2016. "System dynamics methodology for the energy demand fulfillment in India: A preliminary study." *Energy Procedia*: 429-435.
- Srigiri, Srinivasa Reddy, y Ines Dombrowsky. 2021. "Governance of the Water-Energy-Food Nexus for an Integrated Implementation of the 2030 Agenda." *Deutsches Institut für Entwicklungspolitik*: 1-38.
- Sterman, John. 2002. "System Dynamics: Systems thinking and Modeling for a Complex World." *ESD Internal Symposium*: 1-32.
- ULEAM. 2020. "Foro del Agua. Manejo Sostenible y Sustentable del recurso hídrico." Presentación, Manta.
- UNEP/WHO/HABITAT/WSSCC. 2004. *Guidelines on municipal wastewater management*. Guía, The Hague: UNEP/GPA. Edición en PDF.
- UNIDO. 2015. *Guía Práctica para la Implementación de un Sistema de Gestión de la Energía*. Nueva York: ONU- Edición en PDF.
- Ventana Systems. *How does Vensim compare to other system dynamics software?* s.f. <https://vensim.com/faqs/how-does-vensim-compare-to-other-system-dynamics-software/> (último acceso: 01 de 04 de 2022).
- Walsh, Brendan, Sean Murray, y D.T.J. O'Sullivan. 2015. "The water energy nexus, an ISO50001 water case study and the need for water value system." *Water Resources and Industry*: 15-28.
- Zhang, Chi, Xiaoxian Chen, Yu Li, Wei Ding, y Guangtao Fu. 2018. "Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies." *Journal of cleaner production*: 625-639.
- Zhang, Tong, Qian Tan, Shan Zhang, Tianyun Zhang, y Weijia Zhang. 2020. "A participatory methodology for characterizing and prescribing water-energy-food nexus based on improved causal loop diagrams." *Resources, Conservation and Recycling*: 1-16.