

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Evaluación de la Sostenibilidad en Infraestructuras de Saneamiento:  
Planta de Tratamiento de Agua Potable del Cantón Sevilla de Oro

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

Previo la obtención del Título de:

**Magister en Ingeniería Civil con mención en Construcción y  
Saneamiento**

Presentado por:

Juan Carlos Cárdenas Peralta

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2024

## DEDICATORIA

A mis padres, Carlos y Dolores, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios, que me han enseñado los valores más importantes de la vida. A mi hijo Sebastián, por ser mi fuente de inspiración y motivación para seguir adelante. A mi pareja Jessica, por su amor y por estar siempre a mi lado en cada paso de este camino. A mis hermanos, José Luis, Paulina y Carla, por su apoyo y por ser mi mayor fortaleza. Y a mi abuela Laura, por su sabiduría, cariño y por enseñarme el verdadero significado de la familia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis tutores de maestría por su valioso apoyo y orientación a lo largo de este proceso. En especial, quiero agradecer a la Arq. Anabel Castillo Rodríguez, M.Sc., por ser mi tutora en este proyecto, por su dedicación, paciencia y por compartir su conocimiento y experiencia. Su guía ha sido fundamental para el desarrollo de este trabajo y para mi crecimiento académico y profesional. Agradezco profundamente la confianza y el compromiso que me brindó, siempre motivándome a dar lo mejor de mí. Sin su acompañamiento, este proyecto no habría sido posible.

## **Declaración Expresa**

---

Yo Juan Carlos Cárdenas Peralta acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor del proyecto de graduación corresponderá al autor, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 05 de diciembre del 2024 .

Juan Carlos Cárdenas Peralta

# EVALUADORES

.....  
**M.sc. Nadia Quijano Arteaga**

PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
**M.sc. Samantha Elizabeth Hidalgo**

PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
**M.sc. Anabel Castillo Rodríguez**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo evaluar la sostenibilidad de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en el cantón Sevilla de Oro, Ecuador, mediante el desarrollo de una metodología de evaluación adaptada a la planta, con el fin de optimizar su desempeño en términos ambientales, sociales y económicos. La importancia de este estudio radica en la necesidad de garantizar que la planta no solo proporcione agua potable de calidad, sino que también opere de manera eficiente, minimizando su impacto ambiental y promoviendo un desarrollo social sostenible. Para ello, se desarrolló una metodología de evaluación de sostenibilidad que consideró indicadores clave en áreas como la eficiencia energética, la calidad del agua, la gestión de residuos y el impacto social. Con esta metodología, se evaluó la PTAP de Sevilla de Oro utilizando los resultados de laboratorio previamente obtenidos para medir la calidad del agua, así como normas internacionales como LEED y BREEAM para la sostenibilidad ambiental. Los resultados mostraron que la planta cumple con los estándares de calidad del agua, pero presenta deficiencias en cuanto a la eficiencia energética, con un consumo superior al promedio de otras plantas similares, y en la gestión de residuos, particularmente en el manejo de lodos. Se sugiere que la planta debe mejorar su eficiencia energética, incorporando energías renovables, y optimizar la gestión de residuos para lograr una mayor sostenibilidad. Estas mejoras no solo optimizarían el funcionamiento de la planta, sino que también podrían servir de modelo para otras infraestructuras de saneamiento.

**Palabras Clave:** Sostenibilidad, Planta de Tratamiento de Agua Potable, eficiencia energética, calidad del agua, residuos.

## **ABSTRACT**

*This project aims to evaluate the sustainability of the Water Treatment Plant (PTAP) in the Sevilla de Oro canton, Ecuador, through the development of a tailored evaluation methodology to optimize its environmental, social, and economic performance. The importance of this study lies in the need to ensure that the plant not only provides quality drinking water but also operates efficiently, minimizing its environmental impact while promoting sustainable social development. To achieve this, a sustainability evaluation methodology was developed, considering key indicators in areas such as energy efficiency, water quality, waste management, and social impact. Using this methodology, the PTAP in Sevilla de Oro was evaluated using previously obtained laboratory results to measure water quality, along with international standards such as LEED and BREEAM for environmental sustainability. The results showed that the plant meets water quality standards but has deficiencies in energy efficiency, with consumption exceeding the average of similar plants, and in waste management, particularly in sludge handling. It is suggested that the plant improve its energy efficiency by incorporating renewable energy and optimize waste management to achieve greater sustainability. These improvements would not only optimize the plant's operation but could also serve as a model for other sanitation infrastructures.*

**Keywords:** *Sustainability, Water Treatment Plant, energy efficiency, water quality, waste management.*

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE PLANOS .....	X
CAPÍTULO 1: Introducción y Contexto de la Sostenibilidad en Infraestructuras de Saneamiento.....	11
1. Introducción .....	11
1.1 Antecedentes.....	12
1.2 Localización .....	14
1.3 Estudios previos y metodologías de evaluación de la sostenibilidad en infraestructuras de ingeniería civil. ....	15
1.3.1 Propuesta de modelo para la evaluación de la sostenibilidad en la dirección integrada de proyectos de ingeniería civil .....	15
1.3.2 Modelo mejorado de evaluación de la sostenibilidad de los proyectos de infraestructuras.....	16
1.3.3 La sostenibilidad en los proyectos, caso de estudio: depuración de aguas	16
1.3.4 Evaluación de sostenibilidad con metodología GRI .....	16
1.4 Problemática que resolver .....	16
1.5 Justificación .....	17

1.6	Objetivos.....	18
1.6.1	Objetivo General .....	18
1.6.2	Objetivos Específicos .....	18
CAPÍTULO 2.....		19
2.	Desarrollo del proyecto .....	19
2.1	Marco conceptual .....	19
2.1.1	Sostenibilidad.....	19
2.1.2	Metodologías y normas de sostenibilidad .....	19
	<b>Evaluación por Categorías (Sistema LEED).....</b>	<b>23</b>
2.2	Metodología de Evaluación de Sostenibilidad para una PTAP .....	35
2.2.1	¿Qué es esta metodología? .....	35
2.2.2	Categorías de Evaluación y Puntuaciones.....	35
2.2.3	Pilar Ambiental: Máximo 40 puntos.....	35
2.2.4	Pilar Social: Máximo 30 puntos .....	37
2.2.5	Pilar Económico: Máximo 30 puntos .....	38
2.2.6	Puntuación Final y Clasificación de Sostenibilidad .....	40
2.2.7	Puntaje total y clasificación de sostenibilidad.....	42
2.2.8	Marco metodológico .....	42
CAPÍTULO 3.....		44
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
3.1	Análisis de la PTAP del cantón Sevilla de Oro .....	44
3.1.1	Pilar ambiental.....	44
3.1.2	Pilar Social .....	48
3.1.3	Pilar Económico .....	49
3.1.4	RESULTADOS EN CADA PILAR.....	54
3.1.5	Propuestas De Mejora.....	55

CAPÍTULO 4.....	61
4. Conclusiones Y Recomendaciones.....	61
4.1 Recomendaciones .....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	64
PLANOS Y ANEXOS.....	67

## **ABREVIATURAS**

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

PTAP Planta de Tratamiento de Agua Potable

LEED Leadership in Energy and Environmental Design

BREEAM Building Research Establishment Environmental Assessment Method

GRI Global Reporting Initiative

ISO: International Organization for Standardization

## SIMBOLOGÍA

mg: Miligramo

pH: Potencial de Hidrógeno

m: Metro

mV: Milivoltio

Cu: Cobre

Ni: Níquel

C: Carbono

Mn: Manganeseo

P: Fósforo

kW: Kilovatio

l/s: Litros por segundo

U.C.: Unidades de Color

$\mu$ S/cm: Microsiemens por centímetro

mg/L: Miligramos por litro

NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Delimitación geográfica del cantón Sevilla de Oro (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Sevilla de Oro, 2024).....	14
Figura 3.1 Planta de tratamiento de Sevilla de Oro .....	44
Figura 3.2 Biodigestor en la planta de tratamiento.....	47
Figura 3.3 Distribución de las respuestas sobre la calidad del agua proporcionada por la PTAP.....	51
Figura 3.4 Distribución de las respuestas sobre la percepción de mejoras en la calidad del agua.....	51
Figura 3.5 Distribución de las respuestas sobre la satisfacción con la frecuencia del suministro de agua.....	51
Figura 3.6 Distribución de las respuestas sobre la adecuación del costo del agua ...	52

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Ejemplo de aplicación de metodología LEED .....	23
Tabla 2.2 Ejemplo de evaluación BREEAM.....	28
Tabla 2.3 Resumen de metodología propuesta .....	40
Tabla 2.4 clasificación de sostenibilidad .....	42
Tabla 3.1 Resultados de análisis de agua de la planta de tratamiento de Sevilla de Oro.....	45
Tabla 3.2 Consumo energético de la planta de tratamiento de Sevilla de Oro .....	46
Tabla 3.3 Costo de m3 de agua tratada.....	49
Tabla 3.4 Resultados de la PTAP de Sevilla de Oro.....	52

## **ÍNDICE DE PLANOS**

PLANO 1 Vista en planta de la PTAP de Sevilla de Oro

PLANO 2 Corte de la PTAP de Sevilla de Oro

# **CAPÍTULO 1: Introducción y Contexto de la Sostenibilidad en Infraestructuras de Saneamiento**

## **1. INTRODUCCIÓN**

El acceso al agua potable de calidad es un derecho fundamental y un pilar crucial para el bienestar humano y el desarrollo sostenible de las comunidades. En el cantón Sevilla de Oro, ubicado en la provincia de Azuay, Ecuador, la necesidad de un suministro de agua seguro y confiable ha adquirido una importancia crítica en las últimas décadas, debido al crecimiento poblacional y económico de la región. Ante este panorama, en el año 2022 se construyó una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) con la capacidad de procesar 9 litros por segundo. Esta infraestructura fue diseñada para atender a una población proyectada de 2.400 personas, aunque actualmente la cabecera cantonal alberga aproximadamente a 1.700 habitantes. La construcción de esta planta representa un avance significativo en la garantía del suministro de agua, pero también plantea importantes preguntas sobre su sostenibilidad a largo plazo (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Sevilla de Oro, 2024).

La sostenibilidad de infraestructuras como la PTAP es un aspecto que debe ser cuidadosamente evaluado para asegurar que estas no solo cumplan con su función principal de proveer agua segura, sino que también operen de manera eficiente y respetuosa con el medio ambiente (UNOPS, 2018). En un mundo cada vez más afectado por el cambio climático y la escasez de recursos naturales, las infraestructuras de saneamiento deben diseñarse y operarse bajo principios de sostenibilidad que minimicen el impacto ambiental, promuevan el uso eficiente de los recursos y aseguren su viabilidad económica y social. En este contexto, la planta de tratamiento de Sevilla de Oro ofrece una oportunidad para analizar y evaluar su sostenibilidad.

A pesar de la importancia de esta planta para la comunidad, hasta la fecha no se ha realizado una evaluación exhaustiva de su sostenibilidad. Esto es preocupante, ya que, sin una evaluación adecuada, es difícil identificar las áreas donde se pueden implementar mejoras que optimicen su operación y reduzcan su huella ambiental. Además, la falta de alineación con estándares internacionales de sostenibilidad, como las normas ISO, o certificaciones como LEED y BREEAM.

La importancia de evaluar la sostenibilidad de la PTAP de Sevilla de Oro radica en varios aspectos. En primer lugar, la evaluación permitirá determinar si la planta está operando de acuerdo con los principios de sostenibilidad que aseguran un balance adecuado entre los beneficios sociales, ambientales y económicos. En segundo lugar, esta evaluación servirá como una herramienta clave para identificar áreas de mejora, lo que contribuirá a optimizar el uso de recursos como el agua y la energía, reducir las emisiones de carbono y minimizar la generación de residuos. Por último, los resultados de este estudio no solo beneficiarán a la comunidad de Sevilla de Oro, sino que también podrán ser utilizados como un modelo para otras comunidades que buscan implementar prácticas sostenibles en sus infraestructuras de saneamiento.

## **1.1 Antecedentes**

En las últimas décadas, el concepto de sostenibilidad ha ganado una importancia crucial en el diseño, construcción y operación de infraestructuras esenciales, como las plantas de tratamiento de agua potable. Sin embargo, a pesar de su relevancia, la implementación de prácticas sostenibles en infraestructuras de saneamiento sigue siendo un desafío en muchas comunidades, particularmente en aquellas con recursos limitados o en desarrollo. El cantón Sevilla de Oro, en la provincia de Azuay, Ecuador, no es una excepción a esta tendencia; aunque, en 2022 se inauguró una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) con una capacidad de 9 l/s, diseñada para atender a una población de hasta 2.400 habitantes, el enfoque en su sostenibilidad no ha sido definido ni evaluado.

La PTAP de Sevilla de Oro se erige como una infraestructura fundamental para garantizar el suministro de agua potable a la comunidad. Sin embargo, hasta la fecha, no se ha realizado una evaluación exhaustiva que determine si esta planta cumple con los criterios de sostenibilidad necesarios para minimizar su impacto ambiental y maximizar su eficiencia operativa. Este vacío es particularmente preocupante dado el creciente reconocimiento de que las infraestructuras de saneamiento deben no solo ser técnicamente competentes, sino también ambiental y socialmente responsables.

El concepto de sostenibilidad en infraestructuras de saneamiento abarca múltiples dimensiones, incluyendo la eficiencia en el uso de recursos como el agua y la energía, el impacto social y económico en las comunidades a las que sirven. En el caso de la PTAP de Sevilla de Oro, la falta de una evaluación de estos aspectos impide que se pueda medir su desempeño en relación con estándares o certificaciones internacionales, utilizados a nivel mundial para evaluar la sostenibilidad de edificaciones e infraestructuras, ya que no han sido consideradas en el diseño y operación de la planta.

Históricamente, en Ecuador, las infraestructuras de saneamiento han sido construidas con un enfoque predominantemente técnico, con poca atención a la sostenibilidad a largo plazo (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2021). Esto ha generado una serie de problemas, incluyendo el deterioro prematuro de las instalaciones, altos costos operativos, y un impacto negativo en el medio ambiente. La PTAP de Sevilla de Oro, siendo una infraestructura reciente, tiene el potencial de revertir esta tendencia si se implementan medidas de sostenibilidad adecuadas. Sin embargo, para ello es necesario realizar un análisis detallado que identifique las fortalezas y debilidades actuales de la planta en términos de sostenibilidad, así como las oportunidades de mejora.

En este contexto, la tesis surge de la necesidad de llenar este vacío en la evaluación de la sostenibilidad de la PTAP de Sevilla de Oro. A través de este estudio, se busca no solo determinar el grado de sostenibilidad de la planta, sino también proponer mejoras concretas. Para ello, se planteará una metodología de evaluación que permita identificar deficiencias en las dimensiones social, ambiental y económica. Esta metodología incluirá estrategias como la

implementación de actividades de mantenimiento más eficientes, el uso de energías renovables, la selección de materiales sostenibles y la optimización del consumo de recursos. De este modo, se pretende no solo maximizar la eficiencia operativa de la planta, sino también minimizar su impacto ambiental y mejorar su contribución al bienestar de la comunidad, alineándose con los estándares internacionales de sostenibilidad.

## 1.2 Localización

El cantón Sevilla de Oro se encuentra en la provincia de Azuay, en la región sur de Ecuador. Esta provincia, conocida por su diversidad geográfica y climática, juega un papel fundamental en la economía agrícola y ganadera del país. Sevilla de Oro está situado a una altitud de aproximadamente 2.200 metros sobre el nivel del mar, en una región montañosa caracterizada por su terreno accidentado y su clima subtropical de altura. La ubicación geográfica del cantón influye significativamente en sus recursos hídricos (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Sevilla de Oro, 2024).



**Figura 1.1 Delimitación geográfica del cantón Sevilla de Oro (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Sevilla de Oro, 2024).**

### **1.3 Estudios previos y metodologías de evaluación de la sostenibilidad en infraestructuras de ingeniería civil.**

En las últimas décadas, la evaluación de la sostenibilidad en infraestructuras de ingeniería civil ha cobrado una importancia creciente, reflejando la necesidad de garantizar que los proyectos no solo sean técnicamente viables, sino también responsables desde el punto de vista ambiental, social y económico. La aplicación de metodologías de evaluación de la sostenibilidad permite identificar fortalezas y debilidades en estos proyectos, orientando decisiones que minimicen los impactos negativos y maximicen los beneficios a largo plazo. Entre las metodologías más destacadas se encuentran modelos como Ceequal, Envision e Infrastructure Sustainability, que integran múltiples dimensiones de la sostenibilidad. Adicionalmente, la adopción de sistemas de indicadores y metodologías como GRI (Global Reporting Initiative) y la evaluación mediante estándares internacionales como BREEAM, LEED y CASBEE, permite una evaluación más detallada y precisa, facilitando la integración de la sostenibilidad en todas las fases del ciclo de vida del proyecto. A continuación, se describen con mayor detalle algunos de estos estudios y metodologías que han contribuido a la mejora en la gestión sostenible de infraestructuras de ingeniería civil.

#### **1.3.1 Propuesta de modelo para la evaluación de la sostenibilidad en la dirección integrada de proyectos de ingeniería civil**

Este estudio propone un sistema de indicadores para evaluar la sostenibilidad en proyectos de construcción, considerando aspectos ambientales, sociales y económicos. El modelo se basa en la integración de la sostenibilidad en todas las fases del proyecto, desde la planificación hasta la ejecución y el mantenimiento. Los indicadores incluyen la eficiencia en el uso de recursos, la minimización de impactos ambientales, la inclusión social y la viabilidad económica. Este enfoque holístico permite una evaluación integral de la sostenibilidad en proyectos de ingeniería civil (Fernández Sánchez, 2010).

### **1.3.2 Modelo mejorado de evaluación de la sostenibilidad de los proyectos de infraestructuras**

Este trabajo analiza modelos de evaluación de sostenibilidad como Ceequal, Envision e Infrastructure Sustainability, y propone un modelo mejorado que incluye los cuatro pilares de la sostenibilidad: ambiental, social, económico y gobernanza. El modelo mejorado incorpora indicadores específicos para cada pilar, permitiendo una evaluación más detallada y precisa de la sostenibilidad de los proyectos de infraestructuras. Además, se destaca la importancia de la gobernanza en la gestión sostenible de los proyectos (Arizón-Fanlo, 2022).

### **1.3.3 La sostenibilidad en los proyectos, caso de estudio: depuración de aguas**

Este estudio se centra en la sostenibilidad de proyectos de depuración de aguas, analizando diferentes métodos de evaluación ambiental como BREEAM, LEED, VERDE y CASBEE. Se examinan las ventajas y desventajas de cada método, así como su aplicabilidad en proyectos de saneamiento. El estudio concluye que la integración de criterios de sostenibilidad en el diseño y operación de plantas de tratamiento de aguas es esencial para minimizar el impacto ambiental y asegurar la eficiencia en el uso de recursos (Guardino Ferré & González Benítez, 2012).

### **1.3.4 Evaluación de sostenibilidad con metodología GRI**

Este artículo discute cómo las memorias de sostenibilidad pueden ayudar a las organizaciones a marcarse objetivos, medir el desempeño y gestionar el cambio para operaciones más sostenibles. La metodología GRI (Global Reporting Initiative) proporciona un marco para la elaboración de informes de sostenibilidad, que incluye indicadores de desempeño ambiental, social y económico. La adopción de esta metodología permite a las organizaciones comunicar de manera transparente sus esfuerzos y logros en sostenibilidad (Rodríguez-Guerra & Ríos-Osorio, 2016).

## **1.4 Problemática que resolver**

La falta de implementación de sistemas sostenibles en infraestructuras críticas es un desafío común en muchas comunidades, incluyendo Sevilla de Oro. A pesar de la importancia de la planta de tratamiento de agua potable construida en 2022, su diseño y operación carecen documentos en donde indiquen una evaluación

cuantitativa y cualitativa del grado de sostenibilidad. Esta evaluación es crucial para identificar áreas de mejora y maximizar la eficiencia de la planta, lo que a su vez contribuirá a la reducción del consumo de recursos, como agua y energía, y a la disminución de emisiones de carbono, beneficiando así al ambiente. Además, al mejorar la sostenibilidad de la planta, se garantiza un suministro de agua más seguro y confiable para la comunidad, se fortalece la resiliencia frente a eventos climáticos extremos y se promueve un desarrollo más equitativo y sostenible en la región. Este proyecto no solo beneficiará a Sevilla de Oro, sino que también servirá como modelo para impulsar a otros cantones a adoptar prácticas sostenibles en sus infraestructuras, contribuyendo así a la construcción de un futuro más sostenible y resiliente para todas las comunidades. En consecuencia, es necesario evaluar la sostenibilidad de la planta y tomar medidas concretas para mejorar su desempeño, acorde con los estándares y prácticas sostenibles internacionalmente reconocidos.

## **1.5 Justificación**

La evaluación de la sostenibilidad de la planta ayudara a evaluar la eficiencia y el impacto ambiental, y también como guía para la implementación de prácticas que pueden reducir el consumo de recursos, minimizar las emisiones de carbono y optimizar la eficiencia operativa.

Además, la falta de una evaluación sistemática de sostenibilidad impide identificar áreas de mejora en el diseño y operación de la planta, lo que puede resultar en un uso ineficiente de recursos y una mayor generación de residuos. Al realizar un análisis exhaustivo, se podrán proponer mejoras concretas para reducir el consumo de agua y energía, así como las emisiones de carbono, contribuyendo a un desarrollo más equitativo y sostenible en la región (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2021).

El impacto de una evaluación de sostenibilidad también va más allá de la planta misma. La implementación de recomendaciones basadas en estándares internacionales no solo puede fortalecer la resiliencia de la planta frente a eventos climáticos extremos y garantizar un suministro de agua más seguro y confiable para la comunidad, sino que también puede servir como un modelo para otras

localidades. Además, este trabajo se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente con el ODS 6, que busca garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, y el ODS 11, que promueve la creación de ciudades y comunidades sostenibles (Naciones Unidas, 2015). Al contribuir a la mejora de la sostenibilidad de la planta, este proyecto apoya directamente estos objetivos globales, fomentando un desarrollo más equitativo y resiliente en la región.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo General**

- Analizar la sostenibilidad de la Planta de Tratamiento de Agua Potable en Sevilla de Oro mediante el planteamiento de una metodología de evaluación para infraestructuras de saneamiento, con el fin de garantizar un suministro de agua seguro, eficiente y ambientalmente responsable.

### **1.6.2 Objetivos Específicos**

- Identificar criterios y sistemas de evaluación de la sostenibilidad en infraestructuras de saneamiento para determinar su impacto social, ambiental y económico.
- Plantear una metodología de evaluación para determinar los niveles de sostenibilidad que se puedan implementar en infraestructuras de saneamiento.
- Realizar un análisis de sostenibilidad para la PTAP de Sevilla de Oro.
- Determinar una propuesta de mejora para la planta en estudio, reduciendo el consumo de recursos energéticos, agua, materiales, emisiones y residuos generados por la planta mediante procesos sostenibles.

# CAPÍTULO 2

## 2. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 2.1 Marco conceptual

#### 2.1.1 Sostenibilidad

La sostenibilidad es un enfoque integral que busca equilibrar el desarrollo económico, la protección del medio ambiente y el bienestar social (González, 2020).

#### 2.1.2 Metodologías y normas de sostenibilidad

La sostenibilidad es un concepto amplio que abarca diversas metodologías y normas diseñadas para evaluar y mejorar el desempeño ambiental, social y económico de las organizaciones. Existen múltiples enfoques y estándares, pero nos centraremos en tres de los más reconocidos a nivel internacional: LEED, BREEAM y la norma ISO 14001

#### 2.1.2.1 Certificación LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*)

##### 2.1.2.1.1 ¿Qué es LEED?

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) es un sistema de certificación internacionalmente reconocido, desarrollado por el U.S. Green Building Council (USGBC), que evalúa la sostenibilidad de edificios e infraestructuras. Este sistema busca promover la construcción, operación y mantenimiento de proyectos que minimicen su impacto ambiental, fomentando la eficiencia en el uso de los recursos naturales y mejorando el rendimiento económico y social de los edificios (U.S. Green Building Council, 2024).

LEED otorga certificaciones en función de los puntos acumulados en varias categorías que evalúan distintos aspectos de la sostenibilidad. El objetivo es reducir el impacto ambiental a través del uso eficiente de la energía, el agua y los materiales, mejorando al mismo tiempo la calidad de vida de los ocupantes.

##### 2.1.2.1.2 Categorías de Evaluación

LEED organiza su sistema de puntuación en diferentes categorías que abordan aspectos clave de la sostenibilidad:

- **Sitios Sostenibles (Sustainable Sites):** Evalúa cómo el proyecto afecta el entorno natural y su capacidad para minimizar impactos negativos, promoviendo la selección de sitios que no interfieran con hábitats

sensibles y fomenten prácticas como la reducción de la contaminación lumínica y la gestión adecuada de aguas pluviales. Además, se otorgan puntos si el edificio está bien conectado a medios de transporte público (U.S. Green Building Council, 2024).

- **Eficiencia en el Uso del Agua (Water Efficiency):** Esta categoría premia el uso eficiente del agua, tanto en interiores como exteriores, mediante la implementación de tecnologías como inodoros de bajo flujo, sistemas de recolección de agua de lluvia y paisajismo con bajo requerimiento de agua (U.S. Green Building Council, 2024).
- **Energía y Atmósfera (Energy and Atmosphere):** Se enfoca en la reducción del consumo energético y el uso de fuentes renovables, como paneles solares y sistemas de calefacción o refrigeración eficientes. También incluye la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (U.S. Green Building Council, 2024).
- **Materiales y Recursos (Materials and Resources):** Esta categoría fomenta el uso de materiales reciclados y regionales, así como la reducción y gestión adecuada de los residuos generados durante la construcción y operación del edificio (U.S. Green Building Council, 2024).
- **Calidad del Ambiente Interior (Indoor Environmental Quality):** Evalúa la calidad del aire, el confort térmico, la iluminación natural y el uso de materiales que no emiten sustancias tóxicas, con el objetivo de crear un entorno saludable para los ocupantes (U.S. Green Building Council, 2024).
- **Innovación (Innovation):** Otorga puntos por la implementación de soluciones o tecnologías innovadoras que mejoren la sostenibilidad del proyecto, más allá de los requisitos estándar establecidos en otras categorías (U.S. Green Building Council, 2024).
- **Prioridad Regional (Regional Priority):** Reconoce la importancia de abordar problemas ambientales específicos de la región donde se encuentra el proyecto, otorgando puntos por soluciones que aborden desafíos locales, como la escasez de agua o la eficiencia energética en climas extremos (U.S. Green Building Council, 2024).
- **Puntuaciones y Tipos de Certificación**

LEED otorga distintos niveles de certificación, según la cantidad de puntos acumulados:

- Certified: 40-49 puntos
- Silver: 50-59 puntos
- Gold: 60-79 puntos
- Platinum: 80 o más puntos

Cada categoría tiene una cantidad de puntos que varía según la magnitud del impacto ambiental y la complejidad de la acción implementada. A continuación, se describe cómo se asignan los puntos en cada categoría.

#### 2.1.2.1.3 Puntuación por Categoría

##### **Sitios Sostenibles (Sustainable Sites)**

- **Selección del sitio:** La elección de un sitio que evita la expansión urbana o la afectación de hábitats sensibles puede obtener entre 1 y 3 puntos.
- **Reducción de contaminación lumínica:** Si se implementan sistemas de iluminación que minimizan el impacto en el entorno, se otorgan entre 1 y 2 puntos.
- **Gestión de aguas pluviales:** Diseñar sistemas para recoger y tratar aguas pluviales puede sumar hasta 3 puntos.
- **Proximidad al transporte público:** Un edificio ubicado cerca de estaciones de transporte público puede obtener hasta 2 puntos por reducir la dependencia del automóvil.
- **Total de puntos en Sitios Sostenibles:** Aproximadamente 7-10 puntos.

##### **Eficiencia en el Uso del Agua (Water Efficiency)**

- **Dispositivos de bajo flujo:** La implementación de inodoros y grifos eficientes en el uso de agua puede otorgar entre 2 y 4 puntos.
- **Paisajismo eficiente:** Usar plantas nativas que requieren menos irrigación puede sumar hasta 2-4 puntos.
- **Recolección de agua de lluvia:** Sistemas que reutilicen agua de lluvia pueden sumar entre 2 y 3 puntos.
- **Total de puntos en Eficiencia en el Uso del Agua:** Hasta 10-11 puntos.

##### **Energía y Atmósfera (Energy and Atmosphere)**

- **Reducción del consumo energético:** El uso de tecnologías de ahorro energético y aislamiento adecuado puede sumar entre 5 y 20 puntos.

- **Energías renovables:** La implementación de energía solar o eólica puede otorgar entre 1 y 7 puntos.
- **Monitoreo energético:** Implementar sistemas de monitoreo de consumo de energía puede sumar entre 1 y 2 puntos.
- **Total de puntos en Energía y Atmósfera:** Hasta 30-35 puntos.

#### **Materiales y Recursos (Materials and Resources)**

- **Materiales reciclados:** Usar materiales reciclados o de origen sostenible puede otorgar entre 1 y 3 puntos.
- **Gestión de residuos de construcción:** Si se reciclan o gestionan adecuadamente los residuos de construcción, se pueden obtener entre 1 y 2 puntos.
- **Total de puntos en Materiales y Recursos:** Aproximadamente 10-14 puntos.
- **Calidad del Ambiente Interior (Indoor Environmental Quality)**
- **Calidad del aire y ventilación:** La implementación de sistemas de ventilación eficientes y el uso de materiales de baja emisión pueden sumar entre 5 y 10 puntos.
- **Confort térmico y luz natural:** Un diseño que mejore el confort de los ocupantes puede otorgar entre 3 y 5 puntos.
- **Total de puntos en Calidad del Ambiente Interior:** Hasta 16 puntos.
- Innovación (Innovation)

#### **Innovaciones en sostenibilidad**

- Se pueden obtener hasta 5 puntos por integrar soluciones innovadoras que no estén cubiertas en otras categorías.
- **Total de puntos en Innovación:** Hasta 5 puntos.

#### **Prioridad Regional (Regional Priority)**

- **Soluciones a problemas locales:** LEED otorga hasta 4 puntos por abordar desafíos ambientales específicos de la región.
- **Total de puntos en Prioridad Regional:** Hasta 4 puntos.

#### **.2.1.2.3 Puntos Máximos en LEED**

Sitios Sostenibles (Sustainable Sites) 10 puntos

Eficiencia en el Uso del Agua (Water Efficiency) 11 puntos

Energía y Atmósfera (Energy and Atmosphere) 35 puntos

Materiales y Recursos (Materials and Resources) 14 puntos

Calidad del Ambiente Interior (Indoor Environmental Quality) 16 puntos

Innovación (Innovation) 5 puntos

Prioridad Regional (Regional Priority) 4 puntos

#### 2.1.2.4 Ejemplo de aplicación hipotético

##### Evaluación LEED de un Edificio Administrativo en Quito, Ecuador

##### Descripción del Proyecto

Imaginemos que estamos evaluando un edificio administrativo de oficinas en el centro de Quito, construido con un enfoque en sostenibilidad ambiental. Este edificio ha incorporado diversas tecnologías para la eficiencia energética, el ahorro de agua, y ha sido diseñado para reducir su impacto en el entorno local.

#### Evaluación por Categorías (Sistema LEED)

Tabla 2.1 Ejemplo de aplicación de metodología LEED

Categoría	Subcategorías Evaluadas	Puntos Obtenidos	Explicación
<b>Sitios Sostenibles (Sustainable Sites)</b>	- Proximidad al transporte público	<b>6 puntos</b>	El edificio se encuentra a menos de 500 metros de varias líneas de autobús y tranvía, reduciendo el uso de automóviles particulares (2 puntos). Se ha implementado un sistema de gestión de aguas pluviales para evitar inundaciones (3 puntos) y ha diseñado una iluminación exterior que reduce la contaminación lumínica (1 punto).
	- Gestión de aguas pluviales		
	- Reducción de la contaminación lumínica		
<b>Eficiencia en el Uso del Agua (Water Efficiency)</b>	- Reducción del uso de agua potable en interiores	<b>8 puntos</b>	Se ha instalado tecnología de bajo flujo en los baños (3 puntos), y un sistema de recolección de agua de lluvia para uso en jardinería (3 puntos). Además, el paisajismo requiere poca irrigación (2 puntos).
	- Recolección de agua de lluvia		
	- Paisajismo eficiente		

<b>Energía y Atmósfera (Energy and Atmosphere)</b>	- Uso de energía solar	<b>10 puntos</b>	El edificio cuenta con paneles solares en el techo, que generan el 15% de la energía del edificio (4 puntos). Los sistemas de calefacción y aire acondicionado (HVAC) son de alta eficiencia (3 puntos), y se ha logrado una reducción del 30% en el consumo energético (3 puntos).
	- Sistemas HVAC eficientes		
	- Reducción del consumo energético		
<b>Materiales y Recursos (Materials and Resources)</b>	- Uso de materiales reciclados	<b>6 puntos</b>	Se han utilizado materiales reciclados, como acero y vidrio (2 puntos). La construcción ha reciclado el 75% de los residuos generados (3 puntos), y se han utilizado materiales regionales para el 20% de la construcción (1 punto).
	- Gestión de residuos de construcción		
	- Materiales regionales		
<b>Calidad del Ambiente Interior (Indoor Environmental Quality)</b>	- Ventilación eficiente	<b>9 puntos</b>	El sistema de ventilación maximiza el uso de aire fresco (3 puntos). El diseño promueve el confort térmico y lumínico mediante ventanas amplias y persianas automáticas (3 puntos). Todos los materiales utilizados son de baja emisión de compuestos orgánicos volátiles (3 puntos).
	- Confort térmico y lumínico		
	- Materiales de baja emisión		
<b>Innovación (Innovation)</b>	- Diseño innovador de fachada	<b>3 puntos</b>	Se ha diseñado una fachada ventilada que mejora la eficiencia energética del edificio (2 puntos), y se han implementado tecnologías novedosas para el control de temperatura (1 punto).
	- Uso de tecnologías novedosas		
<b>Prioridad Regional (Regional Priority)</b>	- Solución a problemas locales (Eficiencia energética en climas de altura)	<b>4 puntos</b>	En Quito, la prioridad regional es la eficiencia energética en un clima de altura. El edificio utiliza sistemas que optimizan el consumo energético en altitudes superiores a los 2,500 metros.

**Total, de Puntos:** 46 puntos

**Nivel de Certificación:** Certified

De acuerdo con la puntuación obtenida en esta evaluación hipotética, el edificio lograría una certificación LEED Certified, ya que supera los 40 puntos mínimos

### **2.1.2.5 BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)**

#### 2.1.2.5.1 ¿Qué es BREEAM?

BREEAM es un sistema de evaluación de sostenibilidad que mide el impacto ambiental de un edificio a lo largo de su ciclo de vida. Desarrollado por BRE Global en el Reino Unido, es ampliamente reconocido a nivel internacional.

BREEAM evalúa la sostenibilidad a través de distintas categorías que abarcan la gestión, el uso de energía, la conservación del agua, y otros factores clave que influyen en la sostenibilidad de los edificios (BREEAM España, 2022).

#### 2.1.2.5.2 Categorías de Evaluación en BREEAM y Puntuaciones

BREEAM asigna un valor específico en cada categoría y se otorgan puntos dependiendo del cumplimiento de criterios. A continuación, se desglosan las categorías y sus subpuntos, de forma similar al sistema LEED.

Gestión (Management): Máximo 12 puntos

- **Gestión de la construcción sostenible:** Evaluación del rendimiento durante la construcción y operación (hasta 4 puntos).
- **Planificación de la sostenibilidad:** Inclusión de criterios de sostenibilidad desde la etapa de diseño (hasta 4 puntos).
- **Participación de partes interesadas:** Participación activa de las partes interesadas durante el proyecto (hasta 2 puntos).
- **Certificación en sistemas de gestión ambiental:** Implementación de sistemas de gestión de calidad y auditorías ambientales (hasta 2 puntos).

Salud y Bienestar (Health and Wellbeing): Máximo 17 puntos

- **Calidad del aire interior:** Garantizar aire limpio mediante ventilación mecánica y natural (hasta 5 puntos).
- **Confort térmico:** Diseño para confort térmico interior durante todo el año (hasta 4 puntos).
- **Iluminación natural:** Maximización de luz natural y reducción de dependencia de iluminación artificial (hasta 4 puntos).
- **Reducción del ruido:** Uso de materiales que reducen la contaminación acústica (hasta 2 puntos).
- **Acceso a zonas verdes:** Fomento de espacios naturales en el entorno inmediato del edificio (hasta 2 puntos).

Energía (Energy): Máximo 23 puntos

- **Eficiencia energética:** Reducción del consumo energético (hasta 8 puntos).
- **Energías renovables:** Uso de energía solar, eólica u otras fuentes renovables (hasta 6 puntos).

- **Gestión de emisiones de carbono:** Reducción de la huella de carbono mediante sistemas de bajo consumo (hasta 5 puntos).
- **Monitorización de energía:** Instalación de sistemas de control y monitorización del consumo energético (hasta 4 puntos).

Transporte (Transport): Máximo 9 puntos

- **Proximidad al transporte público:** Ubicación cercana a estaciones de autobús, metro o tren (hasta 3 puntos).
- **Infraestructura para bicicletas:** Espacio dedicado para bicicletas y duchas para ciclistas (hasta 3 puntos).
- **Programas de movilidad sostenible:** Implementación de programas de transporte compartido o vehículos eléctricos (hasta 3 puntos).
- Agua (Water): Máximo 9 puntos
- **Reducción del consumo de agua:** Dispositivos de bajo flujo para reducir el consumo (hasta 4 puntos).
- **Recolección de agua de lluvia:** Uso de sistemas para captar y reutilizar agua de lluvia (hasta 3 puntos).
- **Gestión eficiente del agua:** Sistemas de tratamiento y reciclaje de aguas residuales (hasta 2 puntos).

Materiales (Materials): Máximo 14 puntos

- **Uso de materiales reciclados:** Prioridad en el uso de materiales reciclados o sostenibles (hasta 5 puntos).
- **Materiales locales:** Utilización de materiales de origen local para reducir la huella de transporte (hasta 3 puntos).
- **Certificación de los materiales:** Asegurarse de que los materiales cumplen con estándares de sostenibilidad (hasta 4 puntos).
- **Durabilidad y adaptabilidad:** Selección de materiales duraderos y adaptables a futuras necesidades (hasta 2 puntos).
- Residuos (Waste): Máximo 8 puntos
- **Gestión de residuos durante la construcción:** Planes para minimizar y reciclar los residuos (hasta 5 puntos).
- **Programas de reciclaje operativo:** Programas de reciclaje implementados durante la operación del edificio (hasta 3 puntos).

Uso Ecológico del Suelo (Land Use and Ecology): Máximo 10 puntos

- **Conservación de hábitats:** Preservación de hábitats existentes y mejora de la biodiversidad (hasta 4 puntos).
- **Uso eficiente del suelo:** Aprovechamiento del suelo sin dañar el entorno natural (hasta 3 puntos).
- **Restauración del ecosistema:** Medidas para restaurar áreas dañadas por la construcción (hasta 3 puntos).
- Contaminación (Pollution): Máximo 13 puntos
- **Reducción de emisiones de carbono:** Medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (hasta 5 puntos).
- **Gestión de aguas pluviales:** Implementación de sistemas que minimizan el impacto de las aguas pluviales en el ecosistema (hasta 4 puntos).
- **Control de la contaminación lumínica:** Reducción de la contaminación lumínica mediante tecnologías de iluminación (hasta 2 puntos).
- **Mitigación de la contaminación acústica:** Uso de barreras de sonido y materiales para minimizar el ruido (hasta 2 puntos).

Innovación (Innovation): Máximo 10 puntos

- **Innovaciones en sostenibilidad:** Proyectos que implementan tecnologías nuevas o procesos innovadores no contemplados en las demás categorías (hasta 10 puntos).

Puntuaciones y Certificación en BREEAM

BREEAM otorga una puntuación basada en el porcentaje de puntos obtenidos respecto al total disponible, y las certificaciones se otorgan según los siguientes umbrales:

**Outstanding:**  $\geq 85\%$

**Excellent:**  $\geq 70\%$

**Very Good:**  $\geq 55\%$

**Good:**  $\geq 45\%$

**Pass:**  $\geq 30\%$

**Unclassified:**  $< 30\%$

2.1.2.5.3 Ejemplo hipotético de Evaluación BREEAM: Edificio Administrativo en Quito, Ecuador

A continuación, se presenta un ejemplo de cómo se evaluaría un edificio administrativo en Quito, Ecuador, bajo los criterios de BREEAM.

**Tabla 2.2 Ejemplo de evaluación BREEAM**

<b>Categoría</b>	<b>Subcategorías Evaluadas</b>	<b>Puntos Obtenidos</b>	<b>Explicación</b>
<b>Gestión (Management)</b>	- Planificación de la sostenibilidad	<b>8/12 puntos</b>	Se implementó un sistema de gestión ambiental certificado, y hubo participación de las partes interesadas desde el diseño.
	- Gestión ambiental		
<b>Salud y Bienestar (Health and Wellbeing)</b>	- Calidad del aire interior	<b>12/17 puntos</b>	El edificio cuenta con sistemas avanzados de ventilación y abundante luz natural, garantizando bienestar a los ocupantes.
	- Iluminación natural		
<b>Energía (Energy)</b>	- Uso de energías renovables	<b>17/23 puntos</b>	Instalación de paneles solares y uso eficiente de iluminación LED para reducir el consumo energético.
	- Reducción del consumo energético		
<b>Transporte (Transport)</b>	- Proximidad a transporte público	<b>7/9 puntos</b>	El edificio está ubicado cerca de varias líneas de transporte público y cuenta con estacionamiento para bicicletas.
	- Infraestructura para bicicletas		
<b>Agua (Water)</b>	- Dispositivos de bajo consumo	<b>6/9 puntos</b>	Se usan dispositivos de bajo flujo y sistemas de recolección de agua de lluvia para riego.
	- Recolección de agua de lluvia		
<b>Materiales (Materials)</b>	- Uso de materiales reciclados	<b>9/14 puntos</b>	Se priorizaron materiales locales y reciclados en la construcción del edificio.
	- Materiales locales		
<b>Residuos (Waste)</b>	- Gestión de residuos durante la construcción	<b>6/8 puntos</b>	Durante la construcción se reciclaron el 70% de los residuos generados.
	- Reciclaje operativo		
<b>Uso Ecológico del Suelo (Land Use and Ecology)</b>	- Conservación del entorno natural	<b>7/10 puntos</b>	Se implementaron medidas para restaurar el entorno natural del sitio.
	- Restauración del ecosistema		
<b>Contaminación (Pollution)</b>	- Reducción de emisiones	<b>8/13 puntos</b>	Se implementaron sistemas para reducir las emisiones de carbono y gestionar aguas pluviales.
	- Control de aguas pluviales		
<b>Innovación (Innovation)</b>	- Innovaciones tecnológicas	<b>4/10 puntos</b>	Se aplicaron prácticas innovadoras en la gestión energética.

2.1.2.5.4 Puntuación Total en BREEAM:

**Total Obtenido:** 84 puntos

**Porcentaje:** 70.00%

**Certificación:** Excellent ( $\geq 70\%$ )

**2.1.2.6 Certificación ISO 14001: Sistema de Gestión Ambiental (SGA)**

2.1.2.6.1 ¿Qué es la Certificación ISO 14001?

ISO 14001 es una norma internacional que establece los requisitos para un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) efectivo. Desarrollada por la Organización Internacional de Normalización (ISO), esta norma proporciona un marco que permite a las organizaciones gestionar de manera sistemática y mejorar su

desempeño ambiental, asegurando el cumplimiento de las regulaciones ambientales y el compromiso con la sostenibilidad. La ISO 14001 es aplicable a organizaciones de cualquier tamaño o sector, lo que la convierte en un estándar globalmente reconocido (Organización Internacional de Normalización, 2022).

#### 2.1.2.6.2 Requisitos para la Certificación ISO 14001

Para obtener la certificación ISO 14001, las organizaciones deben cumplir con los siguientes requisitos clave:

- **Desarrollo e Implementación del SGA.**

La organización debe desarrollar, documentar e implementar un Sistema de Gestión Ambiental que cumpla con los requisitos de la norma. Este sistema debe incluir políticas, procedimientos y controles que aseguren el control de los impactos ambientales (Organización Internacional de Normalización, 2022).

- **Evaluación del Impacto Ambiental:**

La organización debe realizar una evaluación detallada de sus actividades, productos y servicios para identificar y evaluar los impactos ambientales significativos. Esto incluye aspectos como el uso de recursos, la generación de residuos y las emisiones (Organización Internacional de Normalización, 2022).

- **Establecimiento de Objetivos y Metas Ambientales:**

Basado en la evaluación de los impactos, la organización debe definir objetivos y metas claras para mejorar su desempeño ambiental. Estos objetivos deben ser medibles y alineados con la política ambiental de la organización (Organización Internacional de Normalización, 2022).

- **Monitoreo y Medición del Desempeño Ambiental:**

Se deben implementar procedimientos para monitorear y medir regularmente el desempeño ambiental en función de los objetivos establecidos. Esto incluye el seguimiento de los niveles de emisión, consumo de energía, uso de agua y gestión de residuos (Organización Internacional de Normalización, 2022).

- **Cumplimiento Legal y Regulaciones:**

Es fundamental que la organización identifique y cumpla con todas las leyes, normativas y requisitos ambientales aplicables, y que mantenga un

sistema para actualizarse sobre cualquier cambio en las regulaciones (Organización Internacional de Normalización, 2022).

- **Mejora Continua del SGA:**

El Sistema de Gestión Ambiental debe ser revisado y mejorado de manera continua a través de auditorías internas, evaluaciones periódicas y la implementación de acciones correctivas. Esto asegura que el sistema evolucione en respuesta a los cambios en las operaciones o en el contexto ambiental (Organización Internacional de Normalización, 2022).

- **Comunicación y Formación.**

La organización debe garantizar que todo el personal relevante esté debidamente capacitado en temas ambientales y en su rol dentro del SGA. Además, se debe comunicar de manera efectiva la política ambiental a todas las partes interesadas (Organización Internacional de Normalización, 2022).

El proceso para obtener la certificación de la norma ISO 14001 implica varios pasos:

- a) **Planificación y Diseño del SGA:** La organización debe realizar una planificación inicial que incluya la evaluación de riesgos e impactos ambientales, la definición de objetivos ambientales y el diseño del sistema de gestión.
- b) **Implementación:** Se pone en marcha el SGA, asegurándose de que todos los procedimientos y controles estén operativos, y de que se capacite al personal involucrado.
- c) **Auditoría Interna:** La organización realiza auditorías internas para evaluar el desempeño del SGA y determinar si se cumplen los requisitos de la norma ISO 14001.
- d) **Auditoría Externa:** Un organismo de certificación acreditado realiza una auditoría externa para verificar que el sistema cumple con los requisitos de la ISO 14001. Si todo está en orden, se otorga la certificación.
- e) **Revisión Continua:** La certificación no es permanente; la organización debe mantener y mejorar continuamente su SGA, lo que incluye auditorías de seguimiento para asegurar que se siguen cumpliendo los requisitos de la norma.

- f) **Puntuación y Certificación en ISO 14001:** A diferencia de los sistemas como BREEAM o LEED, ISO 14001 no utiliza un sistema de puntuación ni clasificaciones basadas en puntos. La certificación se otorga cuando una organización demuestra que ha implementado de manera efectiva todos los requisitos de la norma. Para obtener la certificación, una auditoría externa verifica que el SGA está en funcionamiento y cumple con los criterios establecidos en la norma ISO 14001.

#### 2.1.2.6.3 Beneficios de la Certificación ISO 14001

Esta certificación brinda beneficios como:

- **Mejora del Desempeño Ambiental**  
La implementación de un SGA conforme a la ISO 14001 permite a las organizaciones reducir su huella ambiental. Esto incluye una mejor gestión de los recursos naturales, la reducción de residuos y la minimización de emisiones contaminantes.
- **Cumplimiento Legal**  
La norma ayuda a las organizaciones a identificar y cumplir con todas las normativas ambientales aplicables, lo que reduce el riesgo de sanciones o multas y mejora la relación con los reguladores.
- **Reducción de Costos Operativos**  
Un SGA bien gestionado puede conducir a una mayor eficiencia en el uso de los recursos, lo que resulta en ahorros en energía, agua y materiales, así como en la reducción de costes asociados a la gestión de residuos.
- **Mejora de la Reputación**  
La certificación ISO 14001 es reconocida globalmente como un sello de compromiso con la sostenibilidad, lo que puede mejorar la reputación de la organización ante clientes, inversionistas y la comunidad. Además, es cada vez más un requisito para licitaciones y contratos internacionales.
- **Mejora Continua**  
La norma promueve la mejora continua, asegurando que la organización revise y optimice regularmente sus prácticas ambientales, adaptándose a cambios tecnológicos o regulatorios.
- **Acceso a Nuevos Mercados**  
La certificación puede abrir puertas a mercados internacionales, ya que

muchos clientes y gobiernos prefieren trabajar con organizaciones que demuestren su compromiso con la gestión ambiental.

### ***2.1.2.7 Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Libres***

Este documento se enfoca en la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) para gestionar la escorrentía urbana, reducir el impacto de las lluvias intensas y mejorar la calidad del agua. Se destacan experiencias tanto españolas como internacionales (Perales Momparler & Calcerrada Romero, 2021).

#### **Sostenibilidad:**

- **Mejora del estado de las masas de agua:** Implementación de técnicas de retención y filtración.
- **Protección frente a inundaciones y sequías:** Uso de infraestructuras verdes para gestionar el agua de lluvia.
- **Adaptación y mitigación del cambio climático:** Reducción de la huella de carbono mediante el uso de materiales sostenibles.
- **Reducción del consumo energético:** Optimización de sistemas de bombeo y tratamiento.
- **Fomento de la biodiversidad y la calidad de vida urbana:** Integración de espacios verdes y áreas recreativas.

### ***2.1.2.8 Modelo mejorado de la calidad de evaluación de sostenibilidad en los proyectos de infraestructuras***

Este modelo analiza y mejora los marcos de evaluación de sostenibilidad más utilizados a nivel mundial, como Ceequal, Envision e Infrastructure Sustainability, alineándolos con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU (Arizón-Fanlo, 2022).

#### **Criterios de Sostenibilidad:**

- **Ambiental:** Impacto en la biodiversidad, uso eficiente de recursos, reducción de emisiones.
- **Social:** Inclusión social, impacto en la comunidad, salud y seguridad.
- **Económico:** Costos de ciclo de vida, beneficios económicos a largo plazo.

- **Gobernanza:** Transparencia, participación de stakeholders, cumplimiento normativo.
- **Indicadores:**  
Puntuación mínima en cada pilar.  
Cuantificación de impactos negativos.  
Créditos relacionados con la financiación y los ODS.

#### ***2.1.2.9 Propuesta de modelo para la evaluación de la sostenibilidad en la dirección integrada de proyectos de ingeniería civil***

Este documento propone una metodología para identificar, priorizar y seleccionar indicadores de sostenibilidad en proyectos de infraestructuras lineales, aplicándolos desde las etapas tempranas de planificación y diseño (Rueda Palenzuela, 1999).

##### **Criterios de Sostenibilidad:**

- **Ambientales:** Calidad del aire y agua, gestión de residuos, uso de energía renovable.
- **Sociales:** Impacto en la comunidad, accesibilidad, generación de empleo.
- **Económicos:** Costos de implementación y operación, retorno de inversión.
- **Indicadores:**  
Indicadores ambientales, sociales y económicos.  
Métodos multicriterio para comparar alternativas.  
Flexibilidad para adaptarse a los ODS.

#### ***2.1.2.10 Sostenibilidad y resiliencia de las infraestructuras***

Este documento aborda la importancia de la resiliencia en infraestructuras para enfrentar desastres naturales y cambios climáticos, destacando la necesidad de incorporar la resiliencia desde el inicio del ciclo de vida del proyecto (Weikert Bicalho, 2021).

##### **Criterios de Sostenibilidad:**

- **Análisis de riesgo en etapas tempranas:** Identificación y mitigación de riesgos potenciales.
- **Cumplimiento de estándares técnicos mínimos:** Aseguramiento de la calidad y durabilidad de las infraestructuras.

- **Innovaciones resilientes:** Fomento de la investigación y desarrollo para soluciones innovadoras.
- **Instrumentos financieros para gestionar riesgos:** Uso de seguros y fondos de contingencia.
- **Indicadores:**
  - Número de riesgos identificados y mitigados.
  - Cumplimiento de estándares técnicos.
  - Inversiones en I+D para resiliencia.

#### **2.1.2.11 Sustainability Assessment in Water Infrastructure Projects—Existing Schemes and Challenges**

Este artículo revisa esquemas de evaluación de sostenibilidad en proyectos de infraestructura hídrica, comparando enfoques interdisciplinarios y específicos del agua, y destacando los desafíos en su aplicación (Lee et al., 2021).

##### **Criterios de Sostenibilidad:**

- **Dimensiones ecológicas:** Conservación de recursos hídricos, protección de ecosistemas acuáticos.
- **Dimensiones económicas:** Eficiencia en el uso de recursos, análisis de costos-beneficios.
- **Dimensiones sociales:** Acceso equitativo al agua, impacto en la salud pública.
- **Indicadores:**
  - Evaluación de impactos a lo largo del ciclo de vida.
  - Identificación de soluciones estables desde diferentes perspectivas de sostenibilidad.

#### **2.1.2.12 Comparativa Final**

##### **Criterios Comunes:**

- **Ambientales:** Calidad del agua, eficiencia energética, reducción de emisiones.
- **Sociales:** Impacto en la comunidad, accesibilidad, salud y seguridad.
- **Económicos:** Costos de implementación y operación, beneficios económicos a largo plazo.
- **Gobernanza:** Transparencia, participación de stakeholders, cumplimiento normativo.

### **Análisis de Puntuaciones:**

- **Guía Básica de Diseño:** Enfocada en la gestión de aguas pluviales y la biodiversidad.
- **Modelo Mejorado:** Alineado con los ODS y con un enfoque integral en los cuatro pilares.
- **Propuesta de Modelo:** Metodología flexible y adaptable a diferentes tipos de proyectos.
- **Sostenibilidad y Resiliencia:** Enfocada en la resiliencia y la gestión de riesgos.
- **Sustainability Assessment:** Comparación de esquemas existentes y desafíos en la implementación.

Modelo Mejorado y Propuesta de Modelo son los más completos y alineados con los ODS. La guía Básica de Diseño es muy específica para la gestión de aguas pluviales. Sostenibilidad y Resiliencia es crucial para proyectos en áreas propensas a desastres naturales y Sustainability Assessment proporciona una visión crítica de los esquemas existentes y sus desafíos.

## **2.2 Metodología de Evaluación de Sostenibilidad para una PTAP**

### **2.2.1 ¿Qué es esta metodología?**

Esta metodología evalúa la sostenibilidad de una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) basada en tres pilares fundamentales: ambiental, social y económico. Se utilizan indicadores clave que permiten medir el desempeño de la planta en cada área. A través de un sistema de puntuación, se establece una clasificación de sostenibilidad, basada en criterios cuantificables, con el fin de identificar áreas de mejora y promover la gestión eficiente de los recursos.

### **2.2.2 Categorías de Evaluación y Puntuaciones**

Cada pilar de sostenibilidad se descompone en categorías y subcategorías, a las cuales se asignan puntos en función de los resultados obtenidos. A continuación, se detallan las categorías, los criterios de evaluación y sus puntuaciones.

### **2.2.3 Pilar Ambiental: Máximo 40 puntos**

**Calidad del Agua Tratada: Máximo 15 puntos**

- **Cumplimiento con estándares de calidad de agua potable:**

Indicador: Concentraciones de contaminantes clave, como turbidez, sólidos disueltos (mg/L), evaluados según los resultados que la entidad a realizado a la PTAP

- **Justificación de la puntuación:** La calidad del agua es crítica para garantizar la salud pública y la seguridad de los usuarios. Una planta que cumple al 100% con los estándares de calidad merece la máxima puntuación, mientras que el incumplimiento total refleja un desempeño inaceptable.

- **Puntuación:**

- 0 puntos: No cumple con los estándares.
- 5 puntos: Cumple con el 50% de los parámetros.
- 10 puntos: Cumple con el 80% de los parámetros.
- 15 puntos: Cumple con el 100% de los parámetros.

### **Eficiencia en el Uso de Recursos: Máximo 10 puntos**

- **Consumo energético por m<sup>3</sup> de agua tratada**

Indicador: kWh por metro cúbico de agua tratada.

- **Justificación de la puntuación:** El consumo energético eficiente es esencial para reducir costos operativos y minimizar la huella de carbono. Las plantas más eficientes obtienen una puntuación más alta.

- **Puntuación:**

- 0 puntos: Consumo energético alto, mayor al promedio de plantas similares.
- 5 puntos: Consumo dentro del promedio.
- 10 puntos: Consumo energético óptimo con tecnologías avanzadas.

### **Gestión de Residuos: Máximo 10 puntos**

- **Manejo de lodos y residuos sólidos**

Indicador: Proporción de residuos gestionados adecuadamente mediante reciclaje, compostaje u otras técnicas.

- **Justificación de la puntuación:** La adecuada gestión de residuos sólidos reduce el impacto ambiental y promueve la sostenibilidad. La puntuación refleja la eficiencia en la implementación de prácticas de gestión de residuos.

- **Puntuación:**

- 0 puntos: No se gestiona adecuadamente.
- 5 puntos: Gestión adecuada del 50% de los residuos.
- 10 puntos: Gestión eficiente del 100% de los residuos.

### **Reducción de Emisiones: Máximo 5 puntos**

- **Emisiones de CO<sub>2</sub>**

Indicador: Aplicación de tecnologías que reducen la huella de carbono de la planta.

- **Justificación de la puntuación:** Las plantas que implementan sistemas de bajo consumo y energía renovable tienen una huella de carbono más baja, lo cual es esencial en el contexto de cambio climático.

- **Puntuación:**

- 0 puntos: No se implementan medidas de reducción de emisiones.
- 3 puntos: Se implementan medidas básicas.
- 5 puntos: Se aplican medidas avanzadas de reducción de emisiones.

### **2.2.4 Pilar Social: Máximo 30 puntos**

#### **Accesibilidad al Agua Potable: Máximo 10 puntos**

- **Cobertura del servicio**

Indicador: Porcentaje de la población beneficiada respecto a la población total en el área de influencia.

- **Justificación de la puntuación:** Un acceso adecuado al agua potable es fundamental para el bienestar social. Las plantas que sirven a una mayor proporción de la población obtienen más puntos.

- **Puntuación:**

- 0 puntos: Menos del 50% de la población atendida.
- 5 puntos: Entre 50% y 75% de la población.
- 10 puntos: Más del 75% de la población.

#### **Impacto en la Salud Pública: Máximo 10 puntos**

- **Control enfermedades hídricas**

Indicador: Comparación de la incidencia de enfermedades transmitidas por agua antes y después de la implementación de la planta.

- **Justificación de la puntuación:** La reducción de enfermedades relacionadas con la calidad del agua es un objetivo prioritario. Las plantas que logran mejorar significativamente la salud pública obtienen más puntos.
- **Puntuación:**
  - 0 puntos: No se observa reducción de enfermedades.
  - 5 puntos: Reducción moderada (hasta 50%).
  - 10 puntos: Reducción significativa (más del 50%).

### **Generación de Empleo y Capacitación: Máximo 10 puntos**

- **Empleos directos e indirectos generados**
- Indicador: Número de empleos generados y calidad de los programas de capacitación.
- **Justificación de la puntuación:** La sostenibilidad social incluye la creación de empleo y el fortalecimiento de capacidades locales. Las plantas que ofrecen empleo estable y programas de capacitación reciben más puntos.
- **Puntuación:**
  - 0 puntos: No se genera empleo significativo.
  - 5 puntos: Creación de empleo sin capacitación adecuada.
  - 10 puntos: Creación de empleo con capacitación continua.

### **2.2.5 Pilar Económico: Máximo 30 puntos**

#### **Costos de Operación y Mantenimiento: Máximo 10 puntos**

- **Costo por metro cúbico de agua tratada**

Indicador: Comparación de costos operativos con plantas similares.
- **Justificación de la puntuación:** La sostenibilidad económica se mide en parte por la capacidad de la planta de operar a bajo costo. Se priorizan las plantas con menores costos operativos.
- **Puntuación:**
  - 0 puntos: Costos superiores al promedio regional.
  - 5 puntos: Costos dentro del promedio.
  - 10 puntos: Costos menores con prácticas de eficiencia implementadas.

### **Eficiencia Energética: Máximo 10 puntos**

- **Uso de energías renovables**

Indicador: Proporción del consumo energético cubierto por fuentes de energía renovable.

- **Justificación de la puntuación:** El uso de energías renovables es crucial para reducir los costos a largo plazo y minimizar el impacto ambiental.

- **Puntuación:**

- 0 puntos: No se utilizan energías renovables.
- 5 puntos: Hasta el 50% cubierto por energías renovables.
- 10 puntos: Más del 50% cubierto por energías renovables.

### **1.5.3 Retorno de la Inversión (ROI): Máximo 5 puntos**

- **Ahorro generado comparado con la inversión inicial**

Indicador: Comparación del ahorro operativo a largo plazo versus la inversión inicial.

- **Justificación de la puntuación:** Un retorno rápido de la inversión indica una planta económicamente eficiente.

- **Puntuación:**

- 0 puntos: No hay retorno visible.
- 2.5 puntos: Retorno en más de 5 años.
- 5 puntos: Retorno en menos de 5 años.

### **1.5.4 Satisfacción del Cliente: Máximo 5 puntos**

Indicador: Nivel de satisfacción de los beneficiarios con el servicio proporcionado por la planta.

- **Justificación:** La percepción de los usuarios sobre la calidad y confiabilidad del servicio es fundamental para medir el éxito social de la planta. Una alta satisfacción refleja que el servicio cumple con las expectativas y necesidades de la comunidad.

- **Puntuación:**

- 0 puntos: Bajo nivel de satisfacción (menos del 50% de los usuarios satisfechos).

- 3 puntos: Nivel moderado de satisfacción (entre el 50% y el 75%).
- 5 puntos: Alto nivel de satisfacción (más del 75% de los usuarios satisfechos).

### 2.2.6 Puntuación Final y Clasificación de Sostenibilidad

La suma máxima de puntos es **100 puntos**. Para que una PTAP sea considerada sostenible, debe obtener un puntaje mínimo de 60 puntos en total, sin puntuaciones por debajo de 5 en ninguna categoría.

**Tabla 2.3 Resumen de metodología propuesta**

Pilar	Criterio	Indicador	Puntuación	Máximo Puntos
<b>Ambiental</b>	Calidad del Agua Tratada	Concentraciones de contaminantes clave (turbidez, sólidos disueltos)	0 puntos: No cumple con los estándares.	15
			5 puntos: Cumple con el 50% de los parámetros.	
			10 puntos: Cumple con el 80% de los parámetros.	
			15 puntos: Cumple con el 100% de los parámetros.	
	Eficiencia en el Uso de Recursos	Consumo energético por m <sup>3</sup> de agua tratada (kWh/m <sup>3</sup> )	0 puntos: Consumo energético alto.	10
			5 puntos: Consumo dentro del promedio.	
			10 puntos: Consumo energético óptimo con tecnologías avanzadas.	
	Gestión de Residuos	Proporción de residuos gestionados adecuadamente	0 puntos: No se gestiona adecuadamente.	10
			5 puntos: Gestión adecuada del 50% de los residuos.	
			10 puntos: Gestión eficiente del 100% de los residuos.	
Reducción de Emisiones	Aplicación de tecnologías para reducir la huella de carbono	0 puntos: No se implementan medidas.	5	
		3 puntos: Medidas básicas implementadas.		
		5 puntos: Medidas avanzadas implementadas.		
<b>Social</b>	Accesibilidad al Agua Potable	Cobertura del servicio (% de población atendida)	0 puntos: Menos del 50% de la población.	10

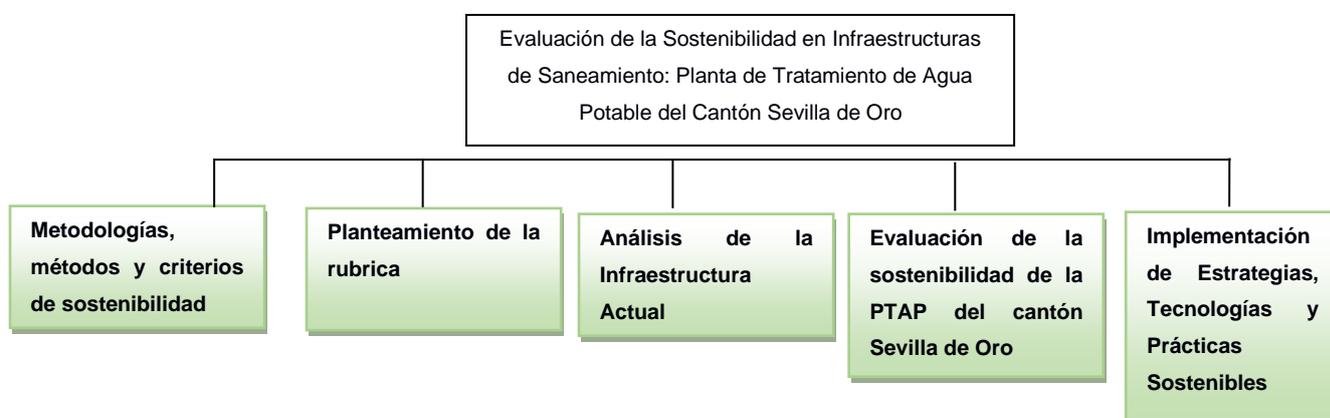
			5 puntos: Entre 50% y 75%.	
			10 puntos: Más del 75%.	
	Impacto en la Salud Pública	Reducción de enfermedades hídricas	0 puntos: No se observa reducción.	10
			5 puntos: Reducción moderada hasta el 50%.	
			10 puntos: Reducción significativa más del 50%.	
	Generación de Empleo y Capacitación	Número de empleos y calidad de programas de capacitación	0 puntos: No se genera empleo.	10
			5 puntos: Creación de empleo sin capacitación.	
			10 puntos: Creación de empleo con capacitación continua.	
<b>Económico</b>	Costos de Operación y Mantenimiento	Costo por m <sup>3</sup> de agua tratada comparado con plantas similares	0 puntos: Costos superiores al promedio.	10
			5 puntos: Costos dentro del promedio.	
			10 puntos: Costos menores con prácticas de eficiencia.	
	Eficiencia Energética	Proporción de consumo cubierto por energías renovables	0 puntos: No se utilizan energías renovables.	10
			5 puntos: Hasta 50% cubierto por energías renovables.	
			10 puntos: Más del 50% cubierto por energías renovables.	
	Retorno de la Inversión (ROI)	Ahorro operativo comparado con la inversión inicial	0 puntos: No hay retorno visible.	5
			2.5 puntos: Retorno en más de 5 años.	
			10 puntos: Retorno en menos de 5 años.	
	Satisfacción del Cliente	Nivel de satisfacción de los beneficiarios con el servicio proporcionado por la planta.	0 puntos: Bajo nivel de satisfacción (menos del 50% de los usuarios satisfechos).	5
2.5 puntos: Nivel moderado de satisfacción (entre el 50% y el 75%).				
5 puntos: Alto nivel de satisfacción (más del 75% de los usuarios satisfechos).				

## 2.2.7 Puntaje total y clasificación de sostenibilidad

Tabla 2.4 clasificación de sostenibilidad

0-29 puntos	Muy baja
30-50 puntos	Baja
51-60 puntos	Moderada
61-80 puntos	Alta
81-100 puntos	Muy alta

## 2.2.8 Marco metodológico



### 2.2.8.1 Metodologías, métodos y criterios de sostenibilidad

Se investiga y recopila criterios de sostenibilidad aplicados a infraestructuras de saneamiento. Analizar casos de éxito de plantas de tratamiento de agua que hayan integrado prácticas sostenibles en contextos similares, con el objetivo de identificar prácticas y tecnologías replicables o adaptables.

### 2.2.8.2 Planteamiento de la rubrica

Se desarrolla una metodología de evaluación adaptada a las características y necesidades específicas de las infraestructuras de saneamiento, utilizando los criterios de sostenibilidad identificados.

### 2.2.8.3 Análisis de la Infraestructura Actual:

Se analizará la infraestructura escogida, con el fin de conocer el estado actual en que se encuentra y el consumo de recursos agua, energía, materiales y la generación de residuos en la Planta de Tratamiento de Agua Potable en Sevilla de Oro.

#### **2.2.8.4 Evaluación de la sostenibilidad de la PTAP del cantón Sevilla de Oro:**

Se utiliza la metodología planteada para evaluar la sostenibilidad del caso de estudio de la Planta de Tratamiento de Agua Potable en Sevilla de Oro en términos de sostenibilidad.

#### **2.2.8.5 Implementación de Estrategias, Tecnologías y Prácticas Sostenibles:**

Basándose en los resultados de la evaluación, se propone implementar estrategias, tecnologías y prácticas sostenibles específicas para mejorar la sostenibilidad de la Planta de Tratamiento de Agua Potable en Sevilla de Oro. Estas acciones estarán dirigidas a optimizar el consumo de recursos, reducir la generación de residuos y minimizar el impacto ambiental de la planta, para lograr una infraestructura más amigable con el medio ambiente y eficiente en el consumo de recursos.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Análisis de la PTAP del cantón Sevilla de Oro



Figura 3.1 Planta de tratamiento de Sevilla de Oro

#### 3.1.1 Pilar ambiental

##### 3.1.1.1 Calidad de agua tratada

La eficiencia en la calidad del agua tratada en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del cantón Sevilla de Oro cumple con todos los parámetros establecidos, según los resultados del análisis de laboratorio realizado en 2023. Estos análisis confirman que la calidad del agua está dentro de los límites requeridos por la **Norma Ecuatoriana INEN 1108**, que establece los requisitos de calidad para el agua potable en el país. Por este cumplimiento riguroso de los estándares, la planta obtiene una puntuación perfecta de 15 sobre 15 en este aspecto dentro de la rúbrica de evaluación de sostenibilidad.

**Tabla 3.1 Resultados de análisis de agua de la planta de tratamiento de Sevilla de Oro**

Parámetro	Resultado	Unidad	Método	Valores establecidos	Resultado
<b>Análisis Físicos</b>					
Color Aparente	0	U.C. Pt-Co	SM-23st-2120 b	Máximo 15 U.C. Pt-Co (INEN 1108)	Cumple
Conductividad	20.9	µS/cm	SM-23st-2510 b	< 1500 µS/cm (OMS)	Cumple
S.D.T.	14	mg/l	SM-23st-2510 a	Máximo 500 mg/L (INEN 1108)	Cumple
pH	6.15	UpH	SM-23st-4500-H+	6 a 9.5 (INEN 1108)	Cumple
Turbidez	0.57	N.T.U.	SM-23st-2130 b	Máximo 5 NTU (INEN 1108)	Cumple
<b>Análisis Químicos</b>					
Alcalinidad a la Fenolftaleína	0.00	mg/l CaCO <sub>3</sub>	SM-23st-2320 b	maximo 200 mg/L	Cumple
Alcalinidad Total	8.41	mg/l CaCO <sub>3</sub>	SM-23st-2320 b	Hasta 500 mg/L (OMS)	Cumple
Hidróxidos	0.00	mg/l CaCO <sub>3</sub>	SM-23st-2320 b	0 (en condiciones normales)	Cumple
Carbonatos	0.00	mg/l CaCO <sub>3</sub>	SM-23st-2320 b	< 10 mg/L	Cumple
Bicarbonatos	8.41	mg/l CaCO <sub>3</sub>	SM-23st-2320 b	maximo 150 mg/L	Cumple
Dureza Cálcica	5.18	mg/l CaCO <sub>3</sub>	SM-23st-3500-Ca b	0 a 100	Cumple
Dureza Magnésica	1.19	mg/l CaCO <sub>3</sub>	Cálculo	0 a 50	Cumple
Dureza Total	6.37	mg/l CaCO <sub>3</sub>	SM-23st-2340 c	maximo 200	Cumple
<b>Análisis de Metales</b>					
Calcio	2.07	mg/l	Cálculo	maximo 100 mg/L	Cumple
Magnesio	0.29	mg/l	Cálculo	maximo 50 mg/L	Cumple
<b>Análisis Bacteriológicos</b>					

Coliformes Totales	<1	UFC/100 ml	SM-23st-9222 b	<1 UFC/100 ml (INEN 1108)	Cumple
Coliformes Fecales	<1	UFC/100 ml	SM-23st-9222 d	<1 UFC/100 ml (INEN 1108)	Cumple

### 3.1.1.2 Eficiencia en el uso de recursos

Para evaluar la eficiencia en el consumo de recursos, se obtuvo el consumo energético por m<sup>3</sup> de agua tratada, con la siguiente fórmula:

Consumo energético por m<sup>3</sup>

$$\text{kWh/m}^3 = \text{Volumen de agua tratada (m}^3\text{)} / \text{Energía Activa Consumida (kWh)}$$

Dando como resultado los siguientes datos en cuatro meses, además de ello se realizó un promedio de los valores obtenidos, para la evaluación.

**Tabla 3.2 Consumo energético de la planta de tratamiento de Sevilla de Oro**

Mes	Consumo Energético (kWh/m <sup>3</sup> )
Febrero	1,77
Marzo	1,39
Abril	2,11
Mayo	1,76
Promedio	1,76

Para la comparación se tomó en cuenta que las PTAP suelen tener un consumo energético que varía entre 0.2 a 1.5 kWh/m<sup>3</sup> de agua tratada (Loaiza et al., 2021).

En la eficiencia de consumo de recursos, la PTAP del cantón Sevilla de Oro, recibe 0 puntos, debido a que, su consumo sobrepasa los valores promedios de consumo energético de PTAP y como se estableció en la rúbrica de evaluación, se establecería como consumo energético alto.

### 3.1.1.3 Gestión de Residuos

En la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del cantón Sevilla de Oro, no se dispone de un sistema específico para el tratamiento de los lodos generados durante el proceso de potabilización. Sin embargo, en cuanto a la gestión de los residuos sólidos, la planta cuenta con áreas de almacenamiento

adecuadas donde los desechos son segregados y almacenados temporalmente antes de ser trasladados a instalaciones especializadas para su tratamiento final. En lo que respecta al manejo de las aguas residuales, la PTAP está equipada con un biodigestor, en el cual se realiza un tratamiento primario de las aguas negras mediante la digestión anaeróbica, reduciendo la carga contaminante antes de su disposición. Además, la planta posee un sistema de drenaje para las aguas lluvias, lo que garantiza un manejo adecuado de los escurrimientos pluviales.

Dado que existen limitaciones en el manejo de lodos y el tratamiento integral de aguas residuales, la planta recibe una puntuación de 4 sobre 10 en este aspecto, de acuerdo con los criterios establecidos en la rúbrica de evaluación de sostenibilidad.



**Figura 3.2 Biodigestor en la planta de tratamiento**

#### **3.1.1.4 Reducción de Emisiones**

Las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) pueden adoptar diversas estrategias para minimizar su huella de carbono, que van desde medidas básicas hasta enfoques más avanzados. Entre las medidas básicas, se destacan la eficiencia energética a través de la utilización de equipos de alto rendimiento y la iluminación LED, así como la gestión de residuos mediante el reciclaje y la reutilización, y la optimización de procesos a través de la automatización.

Por otro lado, las medidas avanzadas incluyen la integración de fuentes de energía renovables, como la instalación de paneles solares y turbinas eólicas, la implementación de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono, la optimización de procesos mediante sistemas de gestión energética e inteligencia artificial.

En el caso de la PTAP del cantón Sevilla de Oro, se han incorporado algunas de estas medidas. La planta utiliza energía hidráulica y ha instalado iluminación LED en las oficinas y áreas de tratamiento, lo que contribuye a una mayor eficiencia energética. Sin embargo, actualmente no cuenta con tecnologías para la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> ni participa en programas de créditos de carbono. Como resultado, se otorga una puntuación de 3 puntos en este criterio, de acuerdo con lo establecido en la rúbrica de evaluación de sostenibilidad.

### **3.1.2 Pilar Social**

#### **3.1.2.1 Accesibilidad al Agua Potable**

La planta de tratamiento está diseñada para abastecer a una población de 2400 personas, sin embargo, la población actual beneficiada es de 1700 personas, lo que está dentro de la capacidad máxima, por esta razón en este parámetro se considera una puntuación de 10 puntos.

#### **3.1.2.2 Impacto en la Salud Pública**

El impacto de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) en la salud pública del cantón Sevilla de Oro ha sido positivo, ya que el agua tratada cumple con los parámetros clave que previenen la transmisión de enfermedades por el agua. Factores como el color aparente, la conductividad, los sólidos disueltos totales (S.D.T.), el pH, la turbidez, los análisis químicos (alcalinidad, dureza) y bacteriológicos (coliformes totales y fecales), entre otros, son críticos para garantizar la seguridad del agua. Según los análisis de laboratorio realizados en 2023, todos estos parámetros se encuentran dentro de los límites establecidos por la Norma Ecuatoriana INEN 1108, lo cual asegura que el agua tratada no sea un factor de riesgo para la salud de la comunidad. Dado que el cumplimiento de estos estándares ha sido riguroso, la PTAP obtiene una puntuación de 10 sobre 10 en este criterio, en coherencia con la evaluación de la calidad del agua tratada, que también recibió una calificación perfecta.

### **3.1.2.3 Generación de Empleo y Capacitación**

Para el debido funcionamiento de la PTAP, se capacito a dos personas para la operación y mantenimiento de esta, además, existe personal encargado del aseo de oficinas, áreas comunes, áreas verdes y área de tratamiento, por lo que; se concede una puntuación de 10 puntos.

### **3.1.3 Pilar Económico**

#### **3.1.3.1 Costos de Operación y Mantenimiento**

En la rúbrica de evaluación del criterio "Costos de Operación y Mantenimiento", se compararon los costos de agua consumida por medidor, utilizando las facturas correspondientes a las plantas de tratamiento de agua potable de los cantones Sevilla de Oro, Cuenca y El Pan. El análisis reveló que el costo del agua en la PTAP de Sevilla de Oro es de 0,19 dólares, ubicándose dentro de un rango similar al de los otros cantones. Dado que este costo se encuentra alineado con estándares comparables, se le otorga una puntuación de 10 puntos en este pilar.

**Tabla 3.3 Costo de m3 de agua tratada**

<b>Ciudad</b>	<b>Consto en dólares de m3 de agua consumida</b>
Sevilla de Oro	0,19
Cuenca	0,415
El Pan	0,21

#### **3.1.3.2 Eficiencia Energética**

En el criterio de Eficiencia Energética, se evaluó la proporción del consumo energético cubierto por fuentes de energía renovable en la PTAP de Sevilla de Oro. La planta utiliza energía hidráulica como fuente principal, lo que contribuye significativamente a su sostenibilidad. Sin embargo, en épocas de sequía, se presentan cortes energéticos que afectan el funcionamiento óptimo de la planta. Durante estos periodos, la PTAP no opera al 100% de su capacidad y depende del agua almacenada en el tanque de reserva para abastecer a la población. Debido a estas limitaciones, se le asigna una puntuación de 5 sobre 10 en este criterio.

### **3.1.3.3 Retorno de la Inversión (ROI)**

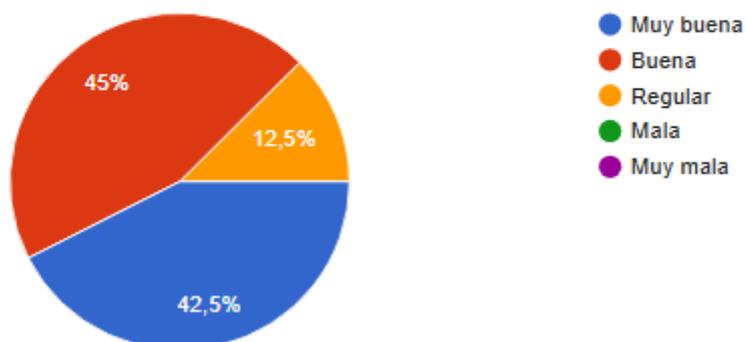
Se evaluó el ahorro operativo a largo plazo en comparación con la inversión inicial realizada para la construcción y operación de la PTAP de Sevilla de Oro. Este indicador mide la eficiencia económica de la planta, ya que, un retorno rápido de la inversión refleja una gestión financiera eficiente. En este caso, se ha determinado que el retorno de la inversión de la planta es superior a los 5 años. Por esta razón, se le asigna una puntuación de 5 puntos, acorde a los parámetros establecidos en la rúbrica de evaluación.

### **3.1.3.4 Satisfacción del Cliente**

Se realizó una encuesta para evaluar la satisfacción del cliente con la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de Sevilla de Oro, abarcando aspectos como la calidad del agua, las mejoras percibidas, la frecuencia del suministro y el costo del agua. Los resultados mostraron que el 80% de los encuestados calificaron la calidad del agua como "Muy buena" o "Buena", lo que resultó en 5 puntos en este aspecto. El 75% notó mejoras en la calidad del agua, otorgando 3 puntos. En cuanto a la frecuencia del suministro, el 85% expresó satisfacción, obteniendo 5 puntos. Finalmente, el 75% consideró adecuado el costo del agua, resultando en 3 puntos.

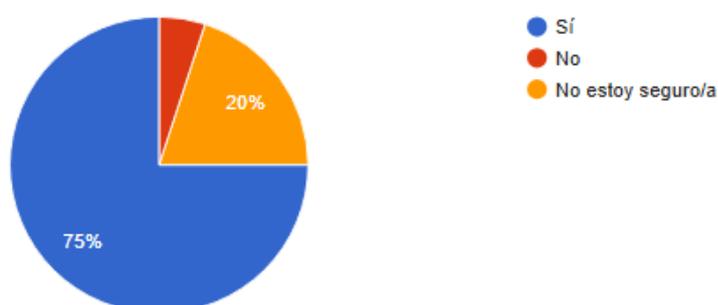
Para obtener la puntuación general de satisfacción, se promedia la puntuación de cada pregunta dando 4 puntos, reflejando un alto nivel de satisfacción global, aunque con oportunidades de mejora en la percepción del costo y las mejoras en la calidad del agua.

3. ¿Cuál es su opinión sobre la calidad del agua proporcionada por la PTAP?



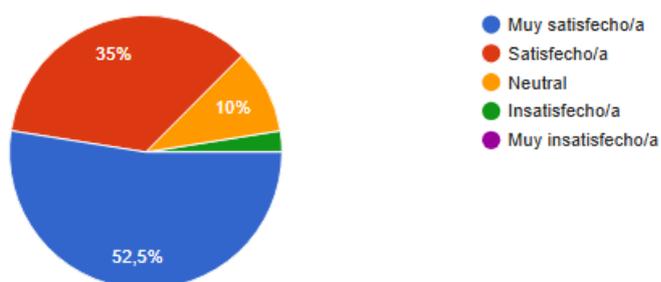
**Figura 3.3 Distribución de las respuestas sobre la calidad del agua proporcionada por la PTAP**

4. ¿Ha notado alguna mejora en la calidad del agua después del funcionamiento de la nueva planta de tratamiento de Sevilla de Oro?



**Figura 3.4 Distribución de las respuestas sobre la percepción de mejoras en la calidad del agua**

5. ¿Está satisfecho/a con la frecuencia del suministro de agua?



**Figura 3.5 Distribución de las respuestas sobre la satisfacción con la frecuencia del suministro de agua**

6. ¿Considera que el costo del agua es adecuado?

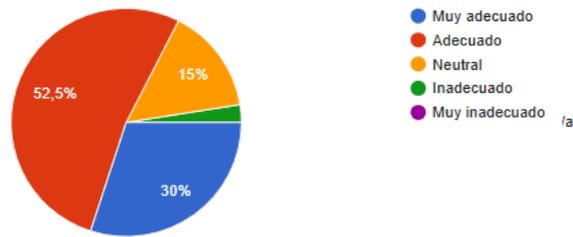


Figura 3.6 Distribución de las respuestas sobre la adecuación del costo del agua

### 3.1.3.5 Resultados de la planta de tratamiento de Sevilla de Oro

En esa tabla se proporciona un resumen de la evaluación realizada a la planta, indicando cada pilar, criterio, indicador, parámetro de calificación y puntuación.

Tabla 3.4 Resultados de la PTAP de Sevilla de Oro

Pilar	Criterio	Indicador	Puntuación	Puntuación obtenida	Máximo Puntos
Ambiental	Calidad del Agua Tratada	Concentraciones de contaminantes clave (turbidez, sólidos disueltos)	0 puntos: No cumple con los estándares.	15	15
			5 puntos: Cumple con el 50% de los parámetros.		
			10 puntos: Cumple con el 80% de los parámetros.		
			15 puntos: Cumple con el 100% de los parámetros.		
	Eficiencia en el Uso de Recursos	Consumo energético por m <sup>3</sup> de agua tratada (kWh/m <sup>3</sup> )	0 puntos: Consumo energético alto.	0	10
			5 puntos: Consumo dentro del promedio.		
			10 puntos: Consumo energético óptimo con tecnologías avanzadas.		
	Gestión de Residuos	Proporción de residuos gestionados adecuadamente	0 puntos: No se gestiona adecuadamente.	4	10
			5 puntos: Gestión adecuada del 50% de los residuos.		
			10 puntos: Gestión eficiente del 100% de los residuos.		
	Reducción de Emisiones	Aplicación de tecnologías para reducir la huella de carbono	0 puntos: No se implementan medidas.	3	5
			3 puntos: Medidas básicas implementadas.		

			5 puntos: Medidas avanzadas implementadas.		
<b>Social</b>	Accesibilidad al Agua Potable	Cobertura del servicio (% de población atendida)	0 puntos: Menos del 50% de la población.	10	10
			5 puntos: Entre 50% y 75%.		
			10 puntos: Más del 75%.		
	Impacto en la Salud Pública	Reducción de enfermedades hídricas	0 puntos: No se observa reducción.	10	10
			5 puntos: Reducción moderada hasta el 50%.		
			10 puntos: Reducción significativa más del 50%.		
Generación de Empleo y Capacitación	Número de empleos y calidad de programas de capacitación	0 puntos: No se genera empleo.	10	10	
		5 puntos: Creación de empleo sin capacitación.			
		10 puntos: Creación de empleo con capacitación continua.			
<b>Económico</b>	Costos de Operación y Mantenimiento	Costo por m <sup>3</sup> de agua tratada comparado con plantas similares	0 puntos: Costos superiores al promedio.	10	10
			5 puntos: Costos dentro del promedio.		
			10 puntos: Costos menores con prácticas de eficiencia.		
	Eficiencia Energética	Proporción de consumo cubierto por energías renovables	0 puntos: No se utilizan energías renovables.	5	10
			5 puntos: Hasta 50% cubierto por energías renovables.		
			10 puntos: Más del 50% cubierto por energías renovables.		
	Retorno de la Inversión (ROI)	Ahorro operativo comparado con la inversión inicial	0 puntos: No hay retorno visible.	2.5	5
			5 puntos: Retorno en más de 5 años.		
			10 puntos: Retorno en menos de 5 años.		
	Satisfacción del Cliente	Nivel de satisfacción de los beneficiarios con el servicio proporcionado por la planta.	0 puntos: menos del 50% de satisfacción	4	5
2.5 puntos: entre el 50% y el 75%					
5 puntos: más del 75% de los usuarios satisfechos).					

La puntuación final de la planta sería de 73.5 puntos, por lo que, según los rangos de calificación se encontraría dentro de 61 – 80 puntos, lo que lo otorgaría alta.

### **3.1.4 RESULTADOS EN CADA PILAR**

#### **A. Impacto Ambiental y Gestión de Recursos**

La PTAP cumple con los estándares de calidad del agua establecidos en la normativa ecuatoriana (INEN 1108), lo que garantiza la seguridad del agua tratada para la comunidad. Sin embargo, se identificó una alta demanda de energía en el proceso de tratamiento, superando los estándares energéticos promedio de PTAP en el país. Esto sugiere la necesidad de adoptar tecnologías energéticamente eficientes para reducir el consumo y la huella de carbono de la planta. Además, la falta de un sistema de tratamiento de lodos y una infraestructura de gestión de residuos sólida representa un área crítica de mejora para minimizar el impacto ambiental y promover la sostenibilidad.

#### **B. Contribución Social y Reducción de Enfermedades**

La planta desempeña un rol fundamental en el bienestar de la comunidad al proporcionar acceso seguro al agua potable, un recurso esencial para la salud pública y la prevención de enfermedades hídricas. La evaluación de sostenibilidad destacó un impacto positivo en la reducción de enfermedades relacionadas con el agua, lo que contribuye a mejorar la calidad de vida de la población local. Asimismo, se observó un impacto social en la creación de empleo directo e indirecto, aunque se recomienda una mayor inversión en programas de capacitación para el personal, mejorando así la eficiencia operativa y el desarrollo de competencias locales.

#### **C. Desempeño Económico y Viabilidad Financiera**

En términos económicos, la PTAP mostró costos operativos superiores al promedio, lo que podría afectar su viabilidad a largo plazo. A través de la optimización de recursos y la adopción de energías renovables, se espera que la planta reduzca costos operativos, mejorando así su viabilidad económica. Además, la implementación de un modelo de retorno de inversión (ROI) muestra que las mejoras sostenibles, aunque requieren una inversión inicial, pueden resultar en ahorros significativos a largo plazo, asegurando la rentabilidad y sustentabilidad de la infraestructura.

### **3.1.5 Propuestas De Mejora**

La puntuación final de la planta es de 73.5 puntos, lo que la sitúa en el rango de "Alta Sostenibilidad" (61-80 puntos). Sin embargo, es posible mejorar en los criterios donde no se alcanzó la puntuación máxima. A continuación, se proponen estrategias de mejora para cada pilar y criterio evaluado:

#### **3.1.5.1 Eficiencia Energética Medidas para la Reducción de Emisiones**

Para mejorar la eficiencia en el uso de recursos en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAP) del cantón Sevilla de Oro, se pueden implementar diversas estrategias que aborden tanto la optimización de procesos como la adopción de tecnologías más eficientes.

- **Auditoría Energética**

Objetivo: Identificar las áreas de mayor consumo energético y oportunidades de mejora.

Acciones: Realizar un análisis detallado de cada etapa del proceso de tratamiento de aguas. Utilizar herramientas de monitoreo para registrar el consumo energético en tiempo real.

- **Mejoras Tecnológicas**

Equipos Eficientes: Sustituir equipos por modelos más eficientes (por ejemplo, bombas de alta eficiencia, motores eléctricos de bajo consumo).

Sistemas de Control: Implementar sistemas de automatización y control que optimicen el uso de energía, como variadores de frecuencia en motores.

Energías Renovables: Considerar la instalación de paneles solares o turbinas eólicas para reducir la dependencia de la red eléctrica.

- **Optimización de Procesos**

Revisión de Parámetros Operativos: Ajustar los parámetros de operación (como el caudal de entrada, tiempos de retención y dosificación de productos químicos) para maximizar la eficiencia.

Reciclaje de Agua: Implementar sistemas de reciclaje dentro de la PTAP para reducir la cantidad de agua que necesita ser tratada.

- **Mantenimiento Preventivo**

Programas de Mantenimiento: Establecer un programa de mantenimiento regular para asegurar que todos los equipos operen a su máxima eficiencia.

Detección de Fugas: Implementar sistemas de monitoreo para detectar fugas o pérdidas en el sistema que puedan incrementar el consumo energético.

- **Monitoreo y Análisis de Datos**

Sistemas de Monitoreo: Instalar sistemas de monitoreo continuo para seguir el consumo energético y la eficiencia en tiempo real.

Análisis de Datos: Utilizar software de análisis de datos para identificar patrones y tendencias que puedan ser optimizados.

- **Inversión en Innovaciones**

Investigación y Desarrollo: Invertir en investigación para implementar tecnologías emergentes en el tratamiento de aguas que puedan reducir el consumo energético.

Colaboraciones: Establecer alianzas con universidades o institutos de investigación para acceder a nuevas tecnologías y enfoques innovadores.

- **Evaluación y Revisión Continua**

Establecimiento de KPIs: Definir indicadores clave de rendimiento (KPIs) para medir la eficiencia energética de manera regular.

Revisiones Periódicas: Realizar revisiones periódicas del rendimiento energético y ajustar las estrategias según los resultados obtenidos.

- **Involucramiento Comunitario**

Educación y Sensibilización: Realizar campañas de sensibilización en la comunidad sobre la importancia de la eficiencia en el uso del agua y la energía.

Recopilación de Sugerencias: Involucrar a la comunidad en la identificación de problemas y en la propuesta de soluciones.

### **3.1.5.2 Mejoras en el Tratamiento de Lodos**

Para mejorar la gestión de residuos en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del cantón Sevilla de Oro y abordar la reducción de emisiones, es fundamental implementar un enfoque integral que contemple tanto el tratamiento de lodos como la gestión adecuada de las aguas residuales.

- **Implementación de un Sistema de Tratamiento de Lodos:**
  - Deshidratación de Lodos:** Instalar equipos para la deshidratación de lodos (como prensas o centrifugadoras) para reducir su volumen y facilitar su manejo.
  - Digestión Aeróbica:** Considerar la adición de un proceso de digestión aeróbica para mejorar la estabilización de los lodos y producir biogás adicional.
  - Reutilización de Lodos:**
    - Compostaje:** Investigar la posibilidad de transformar lodos tratados en compost para su uso en jardinería y agricultura local.
    - Uso en Construcción:** Evaluar la viabilidad de usar lodos deshidratados en la fabricación de ladrillos o como material de construcción.
  - Optimización del Manejo de Aguas Residuales**
- **Mejoras en el Biodigestor:**
  - Monitoreo y Control:** Instalar sistemas de monitoreo para optimizar las condiciones del biodigestor, mejorando su rendimiento y eficiencia.
  - Generación de Energía:** Aprovechar el biogás generado en el biodigestor para producir energía eléctrica o térmica que se utilice en la planta.
- **Tratamiento Secundario:**
  - Filtración y Oxidación:** Implementar un sistema de filtración o un reactor de oxidación para mejorar la calidad del efluente antes de su disposición final.
- **Gestión de Residuos Sólidos**
  - Optimización de la Segregación:**
    - Capacitación al Personal:** Capacitar al personal en la correcta segregación de residuos para asegurar que se minimicen las contaminaciones cruzadas.
    - Monitoreo Regular:** Realizar auditorías periódicas de la segregación de residuos para identificar áreas de mejora.
- **Colaboración con Empresas Especializadas:**
  - Alianzas Estratégicas:** Establecer convenios con empresas especializadas en el tratamiento de residuos sólidos para garantizar una gestión adecuada.

- **Reducción de Emisiones**

**Minimización de Gases de Efecto Invernadero:** Revisar los procesos de operación para minimizar la generación de emisiones durante la potabilización.

**Uso de Energías Renovables:** Incorporar fuentes de energía renovable (como solar o eólica) para reducir la huella de carbono de la planta.

- **Monitoreo de Emisiones:**

**Sistema de Monitoreo:** Implementar un sistema de monitoreo continuo para medir las emisiones de gases y asegurar el cumplimiento de normativas ambientales.

- **Educación y Sensibilización**

**Programas de Concienciación:** Desarrollar campañas de sensibilización tanto dentro de la planta como en la comunidad sobre la importancia de una adecuada gestión de residuos y la reducción de emisiones.

**Involucramiento Comunitario:** Fomentar la participación de la comunidad en actividades de limpieza y reciclaje, generando conciencia sobre el impacto ambiental.

### **3.1.5.3 Reducción de emisiones**

Programas de Créditos de Carbono

Participación en Programas: Investigar programas de créditos de carbono en los que la planta pueda participar, permitiendo así generar ingresos adicionales por la reducción de emisiones.

Certificaciones Ambientales: Considerar la obtención de certificaciones ambientales que reconozcan los esfuerzos en sostenibilidad y gestión de emisiones.

### **3.1.5.4 Eficiencia energética**

Para mejorar la eficiencia energética en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) del cantón Sevilla de Oro, es crucial abordar las limitaciones actuales y diversificar las fuentes de energía utilizadas. Aquí hay un plan detallado para maximizar la eficiencia energética y minimizar la dependencia de fuentes no renovables:

#### **Diversificación de Fuentes de Energía**

- **Energía Solar:**

**Instalación de Paneles Solares:** Evaluar la instalación de paneles solares en las instalaciones de la planta para complementar la energía hidráulica. Esto puede ayudar a reducir la dependencia de la red eléctrica en épocas de sequía.

- **Energía Eólica:**

**Evaluación de Viabilidad:** Considerar la instalación de turbinas eólicas si las condiciones locales son favorables. Esto podría proporcionar una fuente adicional de energía renovable.

- **Optimización del Uso de Energía Hidráulica**

**Mantenimiento de Equipos:** Implementar un programa riguroso de mantenimiento para los sistemas hidráulicos, asegurando que operen a su máxima eficiencia y minimizando pérdidas de energía.

- **Gestión del Agua:** Desarrollar estrategias de gestión del agua que optimicen el uso de recursos, garantizando que el almacenamiento en tanques se realice de manera eficiente.

- **Eficiencia en Procesos Operativos**

- **Revisión de Parámetros de Operación:** Ajustar los procesos de potabilización para maximizar la eficiencia energética, incluyendo la revisión de tiempos de retención y dosificación de productos químicos.

- **Automatización:** Implementar sistemas de control automático para optimizar el funcionamiento de equipos y procesos, reduciendo el consumo energético.

- **Tecnologías de Almacenamiento de Energía**

**Sistemas de Almacenamiento:** Investigar la posibilidad de incorporar sistemas de almacenamiento de energía, como baterías, que permitan almacenar el exceso de energía generada durante períodos de alta producción para su uso en momentos de baja generación.

- **Capacitación del Personal**

**Formación en Eficiencia Energética:** Capacitación regular al personal sobre prácticas de eficiencia energética y el uso óptimo de los recursos.

**Cultura de Sostenibilidad:** Fomentar una cultura de sostenibilidad y ahorro energético entre los empleados.

- **Monitoreo y Evaluación del Consumo Energético**

**Sistemas de Monitoreo:** Instalar sistemas de monitoreo continuo para seguir el consumo energético en tiempo real, identificando áreas donde se pueden realizar mejoras.

**Indicadores de Rendimiento:** Establecer indicadores clave de rendimiento (KPIs) en eficiencia energética y el uso de fuentes renovables.

- **Colaboración con Instituciones**

**Alianzas Estratégicas:** Buscar colaboraciones con universidades, empresas tecnológicas y organismos gubernamentales para el desarrollo de proyectos de eficiencia energética y la implementación de tecnologías innovadoras.

Implementar estas estrategias permitirá a la PTAP del cantón Sevilla de Oro mejorar su puntuación en la rúbrica de evaluación de sostenibilidad, además de lograr una mayor eficiencia operativa y un menor impacto ambiental. La integración de tecnologías avanzadas no solo garantizará un funcionamiento más eficiente, sino que también posicionará a la planta como un modelo de gestión sostenible en la región.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los modelos internacionales de evaluación de sostenibilidad, como LEED y BREEAM, están bien establecidos para edificaciones y otras infraestructuras, pero su enfoque no abarca adecuadamente las particularidades de las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP). Esto resalta la necesidad de desarrollar una metodología específica que contemple las particularidades de sostenibilidad en infraestructuras de saneamiento, como las PTAP.

La rúbrica de evaluación diseñada para PTAP aborda dimensiones de sostenibilidad clave (ambiental, social y económica). Esta metodología incluye criterios específicos como la calidad del agua tratada, el consumo energético, la gestión de residuos y la reducción de emisiones, para ofrecer un diagnóstico completo del desempeño sostenible de la planta.

La planta cumple con estándares de calidad del agua, garantizando la seguridad de este recurso para la comunidad. Sin embargo, el consumo energético de la PTAP es alto, superando los promedios nacionales, lo que indica la necesidad de adoptar tecnologías más eficientes y sostenibles. Además, el manejo de lodos y residuos sólidos requiere mejoras para minimizar el impacto ambiental.

La PTAP de Sevilla de Oro se enfrenta a limitaciones de operación durante épocas de sequía debido a cortes energéticos, lo que impide que funcione al 100% de su capacidad. Para mejorar la resiliencia y sostenibilidad, se sugiere implementar energías renovables, como la solar, complementando la energía hidráulica existente para asegurar una operación continua.

La evaluación de sostenibilidad de PTAP está alineada con los ODS, especialmente con el ODS 6 (agua potable y saneamiento) y el ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles). Esta alineación no solo valida el valor de la planta para la comunidad, sino que también la posiciona como un modelo replicable de sostenibilidad en infraestructuras de saneamiento para otras comunidades en el país.

## 4.1 Recomendaciones

- Para mejorar la sostenibilidad y operación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de Sevilla de Oro, se sugiere llevar a cabo proyectos de optimización y estudios adicionales. Primero, es recomendable implementar un sistema de energías renovables, como paneles solares, para reducir la dependencia de la planta en la red eléctrica, especialmente durante épocas de sequía, cuando el suministro de energía es menos confiable y limita la operación plena de la planta. Esto permitiría una operación continua y estable a lo largo del año y contribuiría a reducir la huella de carbono, alineándose con los compromisos ambientales del país.
- Dado que la planta actualmente carece de un sistema completo de tratamiento de lodos, se recomienda desarrollar una infraestructura específica para el tratamiento de estos residuos. Equipos como centrifugadoras o sistemas de secado de lodos serían esenciales para gestionar adecuadamente los residuos generados y minimizar el impacto ambiental. Adicionalmente, fortalecer las prácticas de segregación y disposición de residuos sólidos optimizaría las operaciones y contribuiría a una gestión ambiental más responsable.
- Es fundamental que en futuros diseños de infraestructuras de saneamiento se consideren los criterios de sostenibilidad específicos que este estudio ha demostrado como esenciales. La implementación de una metodología de evaluación de sostenibilidad adaptada, como la desarrollada en esta investigación, permitirá una valoración más precisa del impacto ambiental, social y económico de cada proyecto. La validación y refinamiento de esta metodología en otras plantas ayudarán a mejorar su eficacia y relevancia, permitiendo su aplicación a nivel regional y nacional, y aportando un marco estándar para evaluar infraestructuras similares.
- Finalmente, se recomienda el desarrollo de programas de capacitación continua para el personal de operación de la planta, enfocándose en el mantenimiento preventivo y en la adopción de prácticas sostenibles. La formación continua no solo mejorará la eficiencia operativa, sino que

también fortalecerá las capacidades locales y generará un mayor compromiso de la comunidad con la infraestructura. Además, se sugiere documentar las lecciones aprendidas en este proyecto y compartirlas con otras comunidades interesadas en implementar infraestructuras sostenibles. Este enfoque colaborativo promovería un modelo replicable de gestión sostenible en infraestructuras de saneamiento, beneficiando a otras comunidades y apoyando un crecimiento más equitativo y resiliente en el país.

# BIBLIOGRAFÍA

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Sevilla de Oro. (2024). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del Cantón Sevilla de Oro*. Recuperado de <https://sevilladeoro.gob.ec/wp-content/uploads/2024/02/PDOT-Sevilla-de-Oro.pdf>.

UNOPS. (2018). La infraestructura como base para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.unops.org/es/news-and-stories/news/new-oxford-university-unops-report-stresses-infrastructure-as-key-to-unlocking-sustainable-development-goals>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2021). Informe sobre la sostenibilidad de las infraestructuras de saneamiento en Ecuador. Recuperado de <https://www.ambiente.gob.ec/informe-sostenibilidad-saneamiento-ecuador>

Fernández Sánchez, G. (2010). Propuesta de modelo para la evaluación de la sostenibilidad en la dirección integrada de proyectos de ingeniería civil (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de <https://oa.upm.es/5524/>

Arizón-Fanlo, J. E. (2022). Modelo mejorado de evaluación de la sostenibilidad de los proyectos de infraestructuras (Tesis doctoral). Universidad de Navarra. Recuperado de <https://dadun.unav.edu/handle/10171/64796>

Guardino Ferré, R., & González Benítez, M. M. (2012). La sostenibilidad en los proyectos. Caso de estudio: depuración de aguas residuales. En Proceedings from the 16th International Congress on Project Engineering (pp. 1064-1075). Valencia. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/16985>

Rodríguez-Guerra, L. C., & Ríos-Osorio, L. A. (2016). Evaluación de sostenibilidad con metodología GRI. Dimensión Empresarial, 14(2), 73-90. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5571580>

Naciones Unidas. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

González, M. (2020). La sostenibilidad como enfoque integral: Equilibrio entre desarrollo económico, protección ambiental y bienestar social. *Revista de Estudios Ambientales*, 15(2), 45-60.

U.S. Green Building Council. (2024). LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Recuperado de <https://www.usgbc.org/leed>.

BREEAM España. (2022). Esquema de evaluación y certificación BREEAM. Recuperado de <https://breeam.es/esquema-de-certificacion-breeam-vivienda/>

Organización Internacional de Normalización. (2022). ISO 14001: Sistemas de gestión ambiental - Requisitos con orientación para su uso. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/60857.html>

Perales Momparler, S., & Calcerrada Romero, E. (2021). Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Libres. Recuperado de <https://blogdelagua.com/documentacion/guia-basica-de-diseno-de-sistemas-de-gestion-sostenible-de-aguas-pluviales-en-zonas-verdes-y-otros-espacios-libres/>

Arizón-Fanlo, J. E. (2022). Modelo mejorado de evaluación de la sostenibilidad de los proyectos de infraestructuras. Universidad de Navarra. Recuperado de <https://dadun.unav.edu/handle/10171/64796>

Rueda Palenzuela, S. (1999). Modelos e Indicadores para ciudades más sostenibles. Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya. Recuperado de [http://wp.forumambiental.org/wp-content/uploads/2017/11/000510\\_modelos\\_indicadores.pdf](http://wp.forumambiental.org/wp-content/uploads/2017/11/000510_modelos_indicadores.pdf)

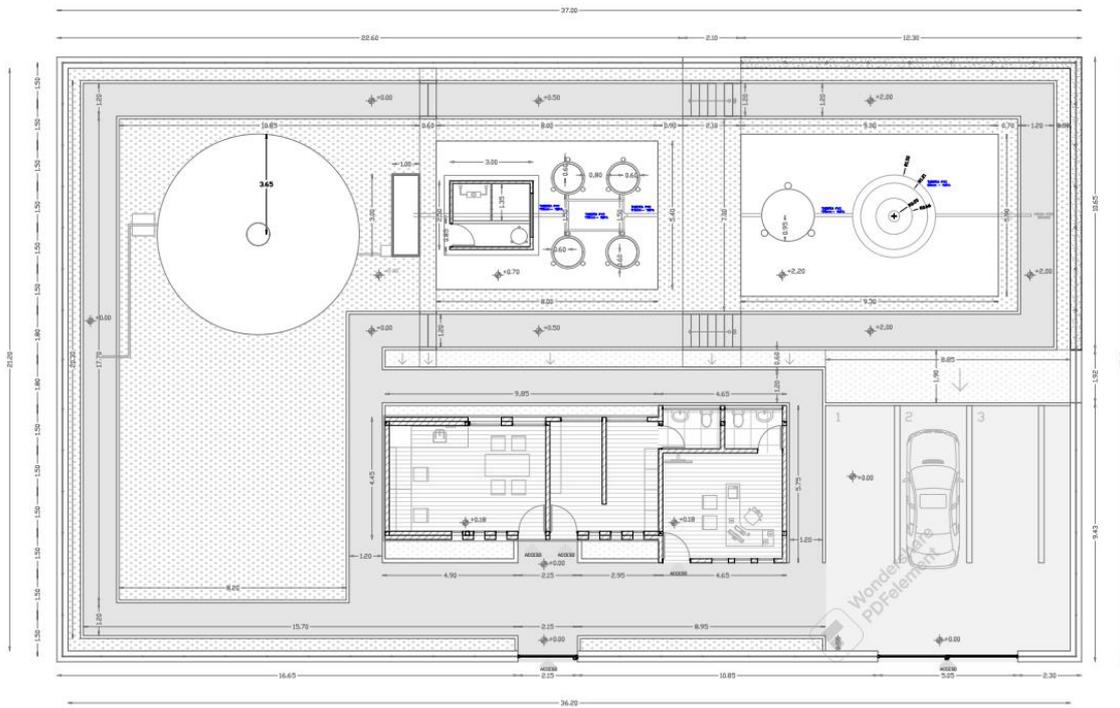
Weikert Bicalho, F. (2021). Infraestructura resiliente: un imperativo para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el

Caribe (CEPAL). Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46646/1/S2000675\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46646/1/S2000675_es.pdf)

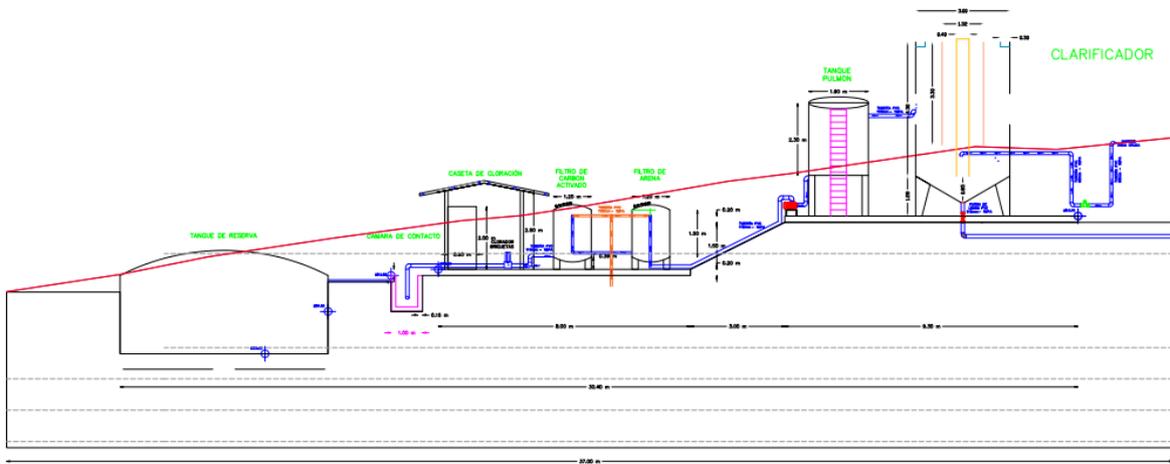
Lee, C.-C., Huang, K.-C., Kuo, S.-Y., Cheng, C.-K., Tung, C.-P., & Liu, T.-M. (2021). Development of a Social Impact Assessment for the Water Environment: A Professional Perspective. *Water*, 13(23), 3355. Recuperado de <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/23/3355>

Loaiza, J., Vázquez, F., Aguilar L, K., & Villagrana, V. (2021). Consumo de energía en plantas de tratamiento - Benchmarking. *Aqua-LAC*, 13(1), 45–57. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2021-v13-1-04>

# **PLANOS Y ANEXOS**



**Plano 1. Vista en planta de la PTAP de Sevilla de Oro**



**Plano 2. Corte de la PTAP de Sevilla de Oro**

**LABORATORIO DE AGUA POTABLE - ETAPA EP**  
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE CON ACREDITACION NUMERO OAE LE C 12-003

**INFORME ANALISIS DE AGUA**

Informe No.: 034-23

DATOS DEL CLIENTE	
CLIENTE :	CONSORCIO SEVILLA
R.U.C. o C.I. :	0195089426001
DIRECCION :	AV. 10 DE AGOSTO Y DANIEL PALACIOS
TELEFONO(s) :	0999365573
CORREO ELECTRÓNICO:	ingccarlos@hotmail.com
SOLICITADO POR :	DEPARTAMENTO DE OBRAS PUBLICAS DE SEVILLA DE ORO (ING. ISMAEL CALLE)

DATOS DE LA MUESTRA	
ENTREGADO POR :	ING. CARLOS GUSTAVO CARDENAS CARDENAS
ORIGEN y/o PROCEDENCIA :	PLANTA DE AGUA SEVILLA / LOROPAMBA
TOMA DE MUESTRA REALIZADA POR :	ING. CARLOS GUSTAVO CARDENAS CARDENAS
FECHA DE TOMA DE MUESTRA :	viernes, 14 de julio de 2023
RECIBIDO POR :	ING. CHRISTIAN SÁNCHEZ MERCHÁN
FECHA DE RECEPCIÓN :	viernes, 14 de julio de 2023

DATOS DEL ANALISIS	
FECHA DE INICIO DEL ANALISIS :	viernes, 14 de julio de 2023
FECHA FIN DEL ANALISIS :	lunes, 17 de julio de 2023
FECHA DE EMISION DEL INFORME :	lunes, 17 de julio de 2023
CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO	
TEMPERATURA (°C) :	19,1
HUMEDAD RELATIVA ( % ) :	62,9

PARAMETROS	UNIDADES	MUESTRAS (CODIGO / IDENTIFICACION / TIPO)		METODO
		E23-135	TANQUE ROMPE PRESION - SALIDA DE LA PLANTA TRATADA	
<b>ANALISIS FISICOS</b>				
* Color Aparente	U.C. Pt-Co		0	SM-23st-2120 b
Conductividad	µS/cm		20,9	SM-23st-2510 b
* S.D.T.	mg/l		14	SM-23st-2510 a
pH	UpH		6,15	SM-23st-4500-H+
Turbiedad	N.T.U.		0,57	SM-23st-2130 b
<b>ANALISIS QUIMICOS</b>				
* Alcalinidad a la Fenolftaleina	mg/l CaCO <sub>3</sub>		0,00	SM-23st-2320 b
* Alcalinidad Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>		8,41	SM-23st-2320 b
* Hidróxidos	mg/l CaCO <sub>3</sub>		0,00	SM-23st-2320 b
* Carbonatos	mg/l CaCO <sub>3</sub>		0,00	SM-23st-2320 b
* Bicarbonatos	mg/l CaCO <sub>3</sub>		8,41	SM-23st-2320 b
* Dureza Cálcica	mg/l CaCO <sub>3</sub>		5,18	SM-23st-3500-Ca b
* Dureza Magnésica	mg/l CaCO <sub>3</sub>		1,19	Cálculo
* Dureza Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>		6,37	SM-23st-2340 c
<b>ANALISIS DE METALES</b>				
* Calcio	mg/l		2,07	Cálculo
* Magnesio	mg/l		0,29	Cálculo
<b>ANALISIS BACTERIOLOGICOS</b>				
Coliformes Totales	UFC/100 ml		<1	SM-23st-9222 b
Coliformes Fecales	UFC/100 ml		<1	SM-23st-9222 d

**Anexo 1. Resultados de análisis de agua**

# Encuesta de satisfacción de usuario la planta de tratamiento de agua potable de Sevilla de Oro

1. 1. Género:

*Marca solo un óvalo.*

- Masculino
- Femenino
- Prefiero no decirlo

2. 2. Tiempo de residencia en Sevilla de Oro:

*Marca solo un óvalo.*

- Menos de 1 año
- 1-5 años
- Más de 5 años

3. 3. ¿Cuál es su opinión sobre la calidad del agua proporcionada por la PTAP?

*Marca solo un óvalo.*

- Muy buena
- Buena
- Regular
- Mala
- Muy mala

4. 4. ¿Ha notado alguna mejora en la calidad del agua después del funcionamiento de la nueva planta de tratamiento de Sevilla de Oro?

*Marca solo un óvalo.*

- Sí  
 No  
 No estoy seguro/a

5. 5. ¿Está satisfecho/a con la frecuencia del suministro de agua? \*

*Marca solo un óvalo.*

- Muy satisfecho/a  
 Satisfecho/a  
 Neutral  
 Insatisfecho/a  
 Muy insatisfecho/a

6. 6. ¿Considera que el costo del agua es adecuado? \*

*Marca solo un óvalo.*

- Muy adecuado  
 Adecuado  
 Neutral  
 Inadecuado  
 Muy inadecuado

## **Anexo 2. Encuesta de satisfacción de cliente**



**Anexo 3. Planta de tratamiento de Sevilla de Oro**