



Revista

Ingeniería

Sostenible Ambiental

Volumen 1, número 1
enero a junio 2024

ISSN

Impreso: 3080-6704

Virtual: 3080-6712



USFX[®]



FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
UMRPSFXCH



Comité Editorial

Palma Moreno-María Elena, PhD
Director Revista

Palma Moreno-María Elena, PhD
Editora

Gonzales Ortiz –Carlos, Ing.
Traducción

Mendez Ramos-Rosbeli, Ing.
Diseño, Maquetación

Mendez Ramos-Rosbeli, Ing.
Marcación electrónica

La Revista Ingeniería Sostenible Ambiental
Volumen 1, Número 1, enero a junio de 2024, es una revista editada por la Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca

Misión

Somos un medio de difusión de conocimiento científico multidisciplinario cuyo objetivo es promover y facilitar la transferencia de resultados de investigaciones académicas originales e inéditas, tanto locales como nacionales e internacionales. Nuestro enfoque está dirigido a las comunidades científicas relacionadas con la gestión de recursos naturales, los procesos de descontaminación ambiental, la gestión ambiental y energética.

Dirección: Calle Regimiento Campos 180,
Teléfono:591-464-53488, Web:

<https://revistas.usfx.bo/index.php/ingsostenibleambiental>, Correo electrónico:
revista.ambiental@usfx.bo

La revista fue instituida mediante la Resolución de Consejo de Carrera N°001/2023

Editora: Palma Moreno-María Elena

ISSN-Impreso:3080-6704

ISSN-Virtual:3080-6712

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan las de los editores de la publicación.

Comité Científico

Ayaviri Panozo - Alberto, PhD.
Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca – Bolivia

Solis Soto – Maria Teresa, PhD
Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca – Bolivia

Arenas Martínez - René, PhD.
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho – Bolivia

Guerrero Saldes - Lorna, PhD.
Universidad Técnica Federico Santa María-Chile

Hernandez Tapia – Silvana Maricruz, MsC.
Colegio de Ingenieros Químicos, Ambientales y Petroquímicos de Pichincha (Ecuador)

Lopez Ortiz - Albina, Lic.
Universidad de San Carlos – Guatemala (USAC)

Molina Baspineiro - Rolando, PhD.
Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca – Bolivia

Montero- Torres Julio, PhD.
Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca - Bolivia

Pino – Ana Laura, MsC.
Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca – Bolivia

Rodríguez Gonzales - Apolonia, PhD.
Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca – Bolivia

Comité Arbitral

*Universidad Mayor, Real y Pontificia de San
Francisco Xavier de Chuquisaca – Bolivia*

PPCA, PhD.

PMME, PhD.

RGA, PhD

AGM, MsC.

DCLM, MsC.

FUJE, MsC.

MCAJ, MsC.

PRE, MsC

VOJG, MsC.

FAF, Ing.

MRRA, Ing.

MPJ, Ing.

MSMC, Ing.

PFL, Ing.

SMA, Ing.

Presentación

La Revista Ingeniería Sostenible Ambiental, es una revista que publica artículos originales en las áreas de la gestión de recursos naturales, procesos de descontaminación ambiental, gestión ambiental y energética. Es editada semestralmente por la Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca.

El contenido de los artículos que aparecen en cada edición, expresan la opinión de los autores y no necesariamente de los editores.

El Volumen 1, Número 1 presenta los siguientes artículos: *Plan integral de manejo de residuos sólidos comunes para la empresa metalúrgica Karachipampa del departamento de Potosí*, por ROMERO - Maribel, con adscripción en la Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Ciencias y Tecnología, Carrera de Ingeniería Ambiental; *Forestación, reforestación y manejo con poblaciones de vegetación autóctona para controlar la erosión en los cerros Sica Sica y Churuquilla en el municipio de Sucre*, por PUMA – Maria, con adscripción en la Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Ciencias y Tecnología, Carrera de Ingeniería Ambiental; *Propuesta de un sistema de gestión ambiental para la planta potabilizadora de agua Los Ángeles B de ELAPAS*, por ESPINDOLA- Micaela, con adscripción en la Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Ciencias y Tecnología, Carrera de Ingeniería Ambiental; *Evaluación del impacto por vertimientos de aguas residuales domésticas, aplicando el índice de contaminación de materia orgánica (ICOMO) en el río Sococha, ubicado entre Villazón (Bolivia) y La Quiaca (Argentina)*, por SEJAS - Alina, con adscripción en la Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Ciencias y Tecnología, Carrera de Ingeniería Ambiental; *Determinación de PM10 en Sucre con imágenes satelitales Landsat 8 y datos de monitoreo in situ*, por GOMEZ-Luis con adscripción en la Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Ciencias y Tecnología, Carrera de Ingeniería Ambiental; *Planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Padcaya – Tarija*, por ACOSTA-Cesar, con adscripción en la Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Ciencias y Tecnología, Carrera de Ingeniería Ambiental;

.

Contenido

Artículo	Página
Plan integral de manejo de residuos sólidos comunes para la empresa metalúrgica Karachipampa del departamento de Potosí Comprehensive solid waste management plan common for the company metalúrgica Karachipampa of the department of Potosí ROMERO –Maribel	1 – 8
Forestación, reforestación y manejo con poblaciones de vegetación autóctona para controlar la erosión en los cerros Sica Sica y Churuquilla en el municipio de Sucre Afforestation, reforestation and management with native vegetation populations to control erosion in the Sica Sica and Churuquilla hills in the municipality of Sucre PUMA – Maria,	9 – 16
Propuesta de un sistema de gestión ambiental para la planta potabilizadora de agua Los Ángeles B de ELAPAS Proposal for an environmental management system for the ELAPAS Los Ángeles B water purification plant ESPINDOLA – Micaela	17 – 24
Evaluación del impacto por vertimientos de aguas residuales domésticas, aplicando el índice de contaminación de materia orgánica (ICOMO) en el río Sococha, ubicado entre Villazón (Bolivia) y La Quiaca (Argentina) Evaluation of the impact of dumping of domestic wastewater, applying the organic matter pollution index (ICOMO) in the Sococha river, located between Villazón (Bolivia) and La Quiaca (Argentina) SEJAS – Alina	25 – 32
Determinación de PM10 en Sucre con imágenes satelitales Landsat 8 y datos de monitoreo in situ Determination of PM10 in Sucre with Landsat 8 satellite images and in situ monitoring data GOMEZ - Luis	33– 40
Planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Padcaya – Tarija Wastewater treatment plant for the municipality of Padcaya – Tarija ACOSTA - Cesar	41 – 50
Instrucciones para Autores	

Plan integral de manejo de residuos sólidos comunes para la empresa metalúrgica Karachipampa del departamento de Potosí

Comprehensive solid waste management plan common for the company metalúrgica Karachipampa of the department of Potosí

Romero Daza, Maribel Celia¹, Cejas Delgado, Ramiro², Fernández Álvarez, Rodrigo Álvaro¹

¹Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Carrera de Ingeniería Ambiental.

²Empresa metalúrgica Karachipampa

Recibido diciembre, 11, 2023; Aceptado marzo, 30, 2024

Resumen

El objetivo del plan es dar solución a los diferentes problemas derivados del inadecuado manejo de los residuos sólidos comunes generados en la empresa metalúrgica Karachipampa del departamento de Potosí, mediante un plan integral de manejo de residuos sólidos comunes que permita mejorar su manejo desde su generación hasta su transferencia al carro basurero. El plan consta de distintos programas que permitirán un manejo adecuado de los residuos, para garantizar la protección del medio ambiente y reducir progresivamente su generación, en consecuencia, es fundamental la participación de los trabajadores, lo que requiere un programa específico de educación ambiental. En la empresa se generan 62,75 kg/día de residuos sólidos y 22,590 t/año. Para ello, se plantea la separación de los residuos sólidos en tres fracciones: orgánicos biodegradables (46 %), inorgánicos reciclables (21 %) y no aprovechables (33 %), que sería necesario depositar en EMAP.

A través de la propuesta del plan integral de manejo de residuos sólidos comunes de la empresa metalúrgica Karachipampa del departamento de Potosí, se mejorará la imagen institucional, se reducirá la contaminación y la generación de residuos, garantizando la protección del medio ambiente y una mayor vida útil del relleno sanitario.

Palabras Clave

Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos Comunes, Medio Ambiente, Educación Ambiental.

Abstract

The objective of this plan is to address the various issues arising from the inadequate management of common solid waste generated at the Karachipampa metallurgical company in the department of Potosí, through the implementation of a Comprehensive Common Solid Waste Management Plan. This plan aims to improve waste handling practices from the point of generation to their transfer to the waste collection vehicle. The plan comprises several programs designed to ensure the proper management of solid waste, thereby guaranteeing environmental protection and progressively reducing waste generation. Consequently, active participation of the workforce is essential, necessitating a specific environmental education program. The company currently generates 62.75 kg/day of solid waste, amounting to 22.590 tons per year. The plan proposes separating solid waste into three categories: biodegradable organic waste (46%), recyclable inorganic waste (21%), and non-recoverable waste (33%), all of which should be deposited at EMAP.

Through the implementation of the comprehensive common solid waste management plan at the Karachipampa metallurgical company in the department of Potosí, the institution's public image will be enhanced, pollution and waste generation will be reduced, and environmental protection will be ensured, thereby extending the operational lifespan of the sanitary landfill.

Keywords

Plan of Integral Handling of Common Solid Residuals, Environment, Environmental Education

Citación: Romero M. Plan Integral de Manejo de Residuos Sólidos comunes para la empresa Metalúrgica Karachipampa del Departamento de Potosí. Revista Ingeniería Sostenible Ambiental 2024,1(1),1-50

Introducción

Hace aproximadamente 20 años a nivel mundial, la sociedad identificó como un problema ambiental la generación de residuos sólidos, teniendo en cuenta que anteriormente se consideraba el ambiente como un recurso sin valor. Los residuos sólidos comunes se han ido incrementando debido al crecimiento poblacional y al aumento de las actividades industriales, estos residuos no se han tratado adecuadamente en el momento de su generación, lo que genera un riesgo al medio ambiente debido a la falta de una legislación adecuada (Cortes, 2020).

Las industrias metalúrgicas en Bolivia desempeñan un papel crucial en la economía del país, particularmente en las actividades de procesamiento de metales preciosos para la fabricación de piezas, maquinaria y herramientas. No obstante, el manejo de los residuos sólidos, tanto industriales como comunes, genera un impacto ambiental significativo. Este panorama resalta la necesidad urgente de adoptar estrategias efectivas para la gestión sostenible de los residuos generados, a fin de mitigar los impactos negativos sobre los ecosistemas y la salud pública. (Avendaño, 2015).

En abril de 1952 con la revolución industrial de las minas de Bolivia, dio lugar a la creación de una de las empresas mineras estatales más grandes del mundo la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), que fue el principal productor minero, desde ese entonces se ha venido incrementando la generación de residuos sólidos comunes, por tal motivo la industria metalúrgica en el país, es uno de los sectores más impulsados debido a que su economía principal es la actividad minera (Peñaranda, 2017).

La empresa metalúrgica Karachipampa es una organización dedicada a la producción de lingotes de plomo y plata metálicas comerciales en base a concentrados mineralizados, que fue fundada el 3 de enero del 2013 como una empresa estratégica del estado, dependiente de la COMIBOL. En la actualidad, la empresa genera residuos sólidos industriales y comunes, emisiones atmosféricas, generación de ruido y desechos

líquidos, lo cual tiene como finalidad consolidar su compromiso con la sociedad llevando a cabo una actividad empresarial con el menor impacto posible sobre el medio ambiente haciendo la operación industrial sostenible (Ticona, 2022)

La empresa metalúrgica Karachipampa genera una cantidad considerable de residuos sólidos comunes, los cuales se caracterizan por no presentar propiedades peligrosas tales como toxicidad, corrosividad, reactividad, explosividad ni patogenicidad. No obstante, a pesar de la naturaleza no peligrosa de estos residuos, la empresa carece de un sistema de clasificación y manejo adecuado que permita optimizar su aprovechamiento y minimizar su impacto ambiental. La ausencia de un sistema eficiente de gestión de residuos puede dar lugar a diversos impactos negativos, tales como la acumulación descontrolada de residuos en vertederos, la contaminación del suelo y la proliferación de vectores patógenos, con las consecuentes repercusiones para la salud pública y el ecosistema circundante. En este contexto, se hace imprescindible que la empresa metalúrgica Karachipampa adopte un sistema de gestión integral de residuos, que incluya la clasificación en origen, la capacitación continua del personal y la promoción de prácticas de consumo responsable. Estas acciones contribuirían a un manejo más eficiente de los residuos, promoviendo la sostenibilidad y reduciendo los impactos ambientales.

Materiales y métodos

1.1. Descripción del área de estudio

La empresa metalúrgica Karachipampa se encuentra localizada en la provincia Tomás Frías, a una distancia aproximada de 7 kilómetros de la carretera principal Potosí-Sucre. El área asignada para sus operaciones presenta una topografía variable, con una pendiente suave a moderada en la zona baja, orientada hacia el norte, y una pendiente pronunciada en la zona alta, hacia el sur.

La ubicación precisa de la planta está definida por las siguientes coordenadas UTM: Altitud: 3977 msnm, Latitud: N 7829900 – 7830400 y Longitud: E 207300 – 207800.

1.2. Equipos y materiales

Los equipos utilizados fueron: data, computadora, un vehículo para el recojo de los residuos, balanza gramera, triturador manual.

Los materiales utilizados fueron: pintura y brocha para el pintado de los contenedores, un cartel sobre la clasificación de los residuos sólidos, un tríptico de segregación de los residuos y un ejemplo de contenedor de cartón para el acopio de los papeles reciclados de las diferentes oficinas administrativas para realizar el taller de capacitación, seguidamente se utilizó un contenedor, romana o balanza, guantes para realizar el método del cuarteo y por ultimo pala, rastrillo, EPP para realizar el secado de los residuos orgánicos.

1.3. Métodos

Metodológicamente todas las actividades del presente estudio fueron diseñadas para ejecutarse en tres fases de acuerdo a la propuesta técnica presentada por el Sistema de Gestión Ambiental Boliviana SGAB:

➤ Fase preparatoria:

De acuerdo con los lineamientos establecidos por la Universidad de San Francisco Xavier de Chuquisaca para el Trabajo Dirigido, se llevó a cabo una solicitud formal, a través de un convenio, dirigida a la gerencia general de la empresa metalúrgica Karachipampa, ubicada en el departamento de Potosí, con el fin de presentar el plan de gestión de residuos sólidos desarrollado para dicha empresa.

En esta fase inicial, se recopiló información tanto bibliográfica como institucional relevante, lo que permitió determinar el número total de naves operativas en la empresa. Posteriormente, se estableció la fecha y hora exactas para realizar un taller de capacitación dirigido a todo el personal, con el objetivo de sensibilizar sobre los conceptos

fundamentales de la gestión de residuos, sus problemáticas asociadas y las posibilidades de reaprovechamiento a través de la minimización, en línea con el principio de las 3Rs (Reducir, Reutilizar y Reciclar).

Además, se diseñaron las rutas de recolección de residuos, las cuales fueron definidas en colaboración con el ingeniero jefe del departamento de seguridad, salud en el trabajo y medio ambiente, y con mi participación, tomando en cuenta la eficiencia y rapidez en el proceso de recolección de residuos sólidos. Finalmente, se identificaron los equipos y materiales necesarios para la implementación efectiva del plan integral de manejo de residuos sólidos comunes, destinado a la empresa metalúrgica Karachipampa en el departamento de Potosí.

➤ Fase de campo:

En primer lugar, se notificó a todo el personal de la empresa sobre el inicio del proceso de caracterización de los residuos sólidos. Después, se coordinó con el jefe del departamento de seguridad, salud en el trabajo y medio ambiente (SSTyMA) para la reutilización de turriles metálicos como contenedores de residuos. Estos turriles fueron debidamente pintados y rotulados, y luego se procedió a capacitar al personal (230 trabajadores) a través de un taller de capacitación, en el cual se abordaron aspectos clave sobre la gestión adecuada de residuos.

Simultáneamente, se realizó el repliegue de los contenedores en todas las naves de la empresa, asegurando su accesibilidad y disponibilidad para el personal.

Finalmente, se llevó a cabo la recolección y transporte de los residuos sólidos generados, con el objetivo de realizar una cuantificación y caracterización detallada de los mismos. Este proceso incluyó la determinación del peso volumétrico de los residuos, y su clasificación en orgánicos e inorgánicos, lo que permitió obtener información precisa sobre la generación de residuos en la empresa

➤ **Fase de gabinete:**

Esta fase se llevó a cabo mediante un proceso sistemático que incluyó: 1) la sistematización de datos de muestreo; 2) la evaluación de la participación del personal; 3) la validación de resultados; y 4) la elaboración de un informe final.

1.4. Disposición final de los residuos

Los residuos no aprovechables generados por la empresa metalúrgica Karachipampa (EMK) son recolectados por la Entidad Municipal de Aseo Potosí para su disposición final en el relleno sanitario de Potosí. Este relleno, ubicado a 2 km de la EMK en el departamento de Potosí, cerca de la carretera Sucre-Potosí

1.5. Análisis FODA

El análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) se emplea como un marco estratégico para evaluar de manera sistemática la interacción entre factores internos y externos que influyen en la viabilidad y eficacia de un plan. Este enfoque metodológico permite identificar y priorizar las variables clave que requieren atención, facilitando la formulación de estrategias objetivas y fundamentadas. La aplicación rigurosa del análisis FODA posibilita la optimización de recursos y la mitigación de riesgos, contribuyendo a la consecución de objetivos específicos con un enfoque proactivo y adaptativo.

Resultados

Se recolectaron datos por observación directa, que hace referencia a un enfoque cualitativo - deductivo. Se elaboró un diagnóstico y se llevaron a cabo una serie de actividades como entrevistas a los trabajadores y al gerente de la empresa. Seguidamente se tomó como instrumentos una serie de registros fotográficos y una bitácora de anotaciones para analizar detenidamente cada componente de la empresa. En la empresa se genera 62,75 kg/día de residuos sólidos y 22,590 Tn/año, para ello se plantea la separación de residuos sólidos en 3 fracciones; orgánicos biodegradables con 46% los cuales sería bueno aprovechar en la producción de

abono orgánico, inorgánicos reciclables con 21% y no aprovechables con 33% que sería necesario depositar en EMAP. El análisis de la generación de residuos sólidos en la empresa metalúrgica Karachipampa (EMK) reveló una producción per cápita de 0.27 kg/hab./día. Este valor se obtuvo mediante una caracterización según la Norma Boliviana NB 742-760. En la siguiente tabla se determina la cuantificación de los residuos sólidos;

Tabla 1
Cuantificación de generación de los residuos sólidos comunes

Subproductos	promedio (Kg/día)	Kg/mes	Tn/año
Materia Orgánica	29	870	10,440
Botellas PET	4,25	127,5	1,530
Plásticos de Baja Densidad	0,75	22,5	0,270
Papel	3	90	1,080
Cartón	2,75	82,5	0,990
Latas de Aluminio	1	30	0,360
Vidrio	1	30	0,360
Papel de baño	4	120	1,440
Otros	17	510	6,120
TOTAL	62,75	1.882,5	22,590

Al realizar el diagnóstico y el análisis FODA se puede apreciar las interacciones de cada una de las actividades del plan

a) Factores internos

Fortalezas

- Institución con políticas ambientales implementadas.
- La empresa cuenta con presupuesto por parte de COMIBOL para de gestión ambiental y manejo de residuos sólidos comunes.
- Profesionales calificados para la gestión de manejo de residuos sólidos comunes.
- Cuenta con licencia ambiental.
- Trabajo en equipo.

- Recursos humanos capacitados para encarar diversas tareas de mantenimiento.
- El área de SSTyMA cuenta con un plan de atención exclusiva al personal de la planta.
- Tiene los medios necesarios para el área de comunicación.
- Voluntad de participación del gerente y el jefe de SSTyMA para generar proyectos socio-ambientales.
- Generación de residuos inorgánicos reciclables (botellas PET) en la planta.
- Buena cobertura del servicio de recolección.

Debilidades

- Falta de gestión ambiental para el manejo de residuos sólidos comunes.
- Falta de capacitación a los trabajadores en cuanto al manejo de residuos sólidos comunes.
- Falta de recipientes adecuados de almacenamiento y manejo de residuos sólidos comunes.
- Recursos económicos y humanos escasos en la EMK, disponibles para las tareas en gestión ambiental.
- Débil coordinación entre las gerencias de área.
- Escaso equipamiento e insumos para el cumplimiento de las labores del control y monitoreo ambiental interno.
- Inexistencia de programas de capacitación para el personal de la EMK.
- Incumplimiento a las medidas de control y recomendaciones de seguridad industrial y medio ambiente en los trabajos realizados por otros departamentos de la planta.
- Falta de conciencia por parte de los trabajadores hacia el cuidado y manejo adecuado de los residuos sólidos.

b) Factores externos

Amenazas

- Daño al medio ambiente.
- Poca aplicación de las normas ambientales.
- Riesgo de acumulación de residuos sólidos comunes.
- Poca ejecución de programas de capacitación por la COMIBOL central.

- Posibles sanciones económicas a la empresa por el mal manejo de los residuos sólidos comunes.
- Demandas por omisión de controles ocupacionales y ambientales.
- Posibles procesos administrativos por el incumplimiento de los informes de monitoreo ambiental.
- Proliferación de enfermedades por la mala gestión de los residuos.
- Contaminación del medio físico: suelo, aire y agua.

Oportunidades

- Generación permanente de residuos sólidos comunes.
- Capacidad de gestión para el manejo de residuos sólidos comunes.
- Disponibilidad de recursos financieros para la implementación de un plan integral.
- Normas ambientales que favorecen la implementación de un plan integral.
- Respaldo del Ministerio de Minería y Metalurgia y la COMIBOL al inicio y continuidad de operaciones de la planta.
- Establecer convenios institucionales públicos y privados.
- Demanda externa para la elaboración de planes de monitoreo y análisis ambiental.
- Única fundición de Pb – Ag en Bolivia.
- Aumento de fuentes de trabajo directo e indirecto para la población del área de influencia.
- Tener un centro de acopio permanente para el almacenamiento temporal de los residuos reciclables.
- Realizar un convenio de intercambio para el destino de los residuos sólidos inorgánicos reciclables (aprovechables).

Por lo expuesto se determinó realizar programas para el manejo adecuado de los residuos, los cuales se describen a continuación;

➤ **Programa de educación ambiental.**

Este programa tiene el propósito de sensibilizar y educar a todo el personal de la empresa metalúrgica Karachipampa con estrategias específicas.

➤ **Programa de minimización.**

Este programa tiene el propósito de impulsar a la participación de todo el personal de la empresa metalúrgica Karachipampa para disminuir la generación de los residuos sólidos aplicando el principio de las 3Rs (reducir, reutilizar y reciclar).

➤ **Programa de almacenamiento diferenciado.**

Este programa tiene el propósito de contar con un método adecuado para el almacenamiento diferenciado que facilite la gestión de los residuos sólidos en la empresa metalúrgica Karachipampa.

➤ **Programa de aprovechamiento.**

Este programa tiene el propósito de aprovechar al máximo la generación de los residuos inorgánicos (tener un convenio con alguna recicladora) y orgánicos (compost) para así poder disminuir la generación de los residuos.

➤ **Programa de recolección, transporte y transferencia.**

Este programa tiene el propósito de contar con algún sistema adecuado entre la recolección, transporte interno y transferencia externa de los residuos sólidos comunes.

Cada uno de estos programas va a permitir que el plan integral de manejo de residuos sólidos comunes de la empresa metalúrgica Karachipampa sea eficiente.

Discusión

El manejo de residuos sólidos implica la implementación de enfoques integrados para su gestión segura y eficiente, lo cual requiere la adopción de diversas estrategias como la reducción, reutilización, reciclaje y compostaje.

Sin embargo, en la empresa metalúrgica Karachipampa, la falta de una cultura ambiental consolidada ha llevado a una deficiente gestión de los residuos sólidos por parte de los trabajadores. Esta situación resalta la necesidad de fortalecer la educación ambiental y promover una mayor concientización sobre la importancia de un manejo adecuado de los residuos.

La educación ambiental es crucial para mitigar el impacto ambiental generado por la actividad industrial, ya que no solo sensibiliza sobre la reducción de residuos, sino que también proporciona soluciones prácticas a los problemas derivados de su acumulación. En este sentido, se recomienda la implementación de programas específicos como: la minimización de residuos sólidos, el almacenamiento diferenciado, el aprovechamiento de residuos inorgánicos y orgánicos, así como la optimización de los procesos de recolección, transporte y transferencia de residuos. Además, es esencial fomentar la concientización de las partes interesadas para asegurar una participación activa en las acciones de gestión.

En relación con la frecuencia de prácticas ambientales, se observó que, de un total de 230 trabajadores, solo un pequeño número muestra preocupación por el cuidado del medio ambiente, reconociendo el impacto significativo de los procesos de producción, extracción y consumo en el entorno. Sin embargo, la generación y acumulación de residuos sólidos continúa siendo una consecuencia directa de estas actividades, lo que subraya la necesidad de sensibilizar a los trabajadores sobre su papel en la mejora de la calidad de vida y la reducción del impacto ambiental. Por otro lado, la mayoría de los trabajadores no participa activamente en prácticas de reciclaje, especialmente en lo que respecta a materiales como plásticos, papel, cartón y restos de alimentos.

Finalmente, la caracterización del manejo de residuos sólidos revela que, en su mayoría, el personal de la empresa no lleva a cabo actividades de reciclaje adecuadas, lo que agrava la acumulación de residuos. Este panorama indica que los actores involucrados en la gestión de residuos sólidos forman parte de una red interdependiente, cuya interacción no está siendo gestionada de manera efectiva. Para mejorar este escenario, es necesario implementar un sistema de gestión de residuos más eficiente y educativo, que involucre a todos los actores en un proceso colaborativo y sostenible.

Conclusiones

Las bases teóricas permitieron una identificación de fuentes primarias y secundarias sobre las cuales se respalda la investigación y el diseño del plan integral de manejo de residuos sólidos comunes. La lectura de textos, libros especializados y trabajos similares fueron fundamentales en su formulación.

El diagnóstico de la situación actual del manejo de los residuos sólidos comunes generados en la Empresa Metalúrgica Karachipampa evidencia que la empresa genera residuos reciclables, orgánicos biodegradables y no aprovechables; tales como plástico, celulosa, latas de aluminio, vidrio y residuos orgánicos compuestas de restos de frutas, restos de verduras, cascaras de huevo entre otros.

Las características y condiciones de los residuos sólidos comunes en la empresa, determino los datos de la generación (62,75 kg/día) y el porcentaje de cada fracción de acuerdo a la clasificación que se dio para la segregación son; orgánicos biodegradables 46%, inorgánicos reciclables 21%, no aprovechables 33%, por lo tanto, se ve que el 33% del total de residuos sólidos no aprovechables llegarían a ser transportados al botadero municipal de Potosí.

Para la comercialización de los residuos aprovechables se representa una fuente de ingresos (proyectado) para la empresa metalúrgica Karachipampa, de acuerdo a la estimación que se realizó en el presente plan por la venta de estos residuos, el ingreso anual es bs 27.090 incluyendo la venta de abono.

El modelo de educación ambiental no formal de la empresa es funcional en términos de transmisión de conocimientos ambientales y en la sensibilización dentro la empresa frente a la importancia que tiene la protección de los recursos naturales.

En el plan integral de manejo de residuos sólidos comunes se propuso programa para minimizar los residuos generados en la empresa metalúrgica Karachipampa y así contribuir en el cuidado del Medio Ambiente.

El presupuesto tentativo para la implementación del plan integral para el manejo de residuos sólidos comunes en la empresa metalúrgica Karachipampa alcanza a Bs 41.139, cabe mencionar que en dos años podríamos recuperar lo invertido por la venta de los residuos aprovechables.

Referencias

- Avendaño, F. (2015, mayo). Panorama actual de la situación mundial, nacional y distrital de los residuos sólidos. Retrieved from programa basura cero: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/3417/79911240.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Font, E. V. (2019, abril). Experiencia comparada España y Colombia. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repository/10221/27111/1/Gestion_de_residuos_Chile_Legislacion_y_Experiencia_Espana_y_Colombia_2019_FINAL.pdf
- Canales Cerón, M. & Digitalia, Inc (Eds.). (2006). Metodologías de investigación social: Introducción a los oficios (1a. ed). LOM Ediciones. <https://imaginariosyrepresentaciones.com/wp-content/uploads/2015/08/canales-ceron-manuel-metodologias-de-la-investigacion-social.pdf>
- IBNORCA. (2015). Instituto Boliviano de Normalización y Calidad. La Paz. 91
- Ley. (1333). Del medio ambiente, del 27 de abril de 1992. Bolivia.

- Ley. (755). De gestión integral de residuos, del 28 de octubre de 2015. Bolivia.
- MMAyA/VAPSB/DGGIRS. (2012). Guía de Educación Ambiental en Gestión Integral de Residuos Sólidos. Bolivia.
- Medrano, N. (2020). Complejo de Tratamiento de Residuos sólidos. Cochabamba. <https://www.sib.org.bo/articulos/item/666-complejo-de-tratamiento-de-residuos-solidos-en-pequenas-poblaciones.html>
- Peñaranda, J. (2017, junio 13). Who is Who? En la Minería Boliviana. Retrieved from Instituto de Investigaciones Socio Económicas: <http://www.iisec.ucb.edu.bo/assets/iisec/publication/1996-1.pdf>
- Ponte de Chacín, C., (2008). Manejo integrado de residuos sólidos: Programa de reciclaje. Instituto Pedagógico de Caracas. Revista de Investigación, (63), 173-200.
- Rivas, C. (2019). Piensa un minuto antes de actuar: Gestión Integral de Residuos Sólidos. Colombia. https://www.academia.edu/49587027/PIENSA_UN_MINUTO_ANTES_DE_ACTUAR_GESTI%C3%93N_INTEGRAL_DE_RESIDUOS_SOLIDOS
- Sáez, A., & Urdaneta G., JA (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. Omnia , 20 (3), 121-135..
- Seoáñez, M. (2021). Residuos: problemática, descripción, manejo, aprovechamiento y destrucción. Argentina. <https://www.agapea.com/libros/RESIDUOS-PROBLEMaTICA-DESCRIPCION-MANEJO-APROVECHAMIENTO-Y-DESTRUCCION-MANUAL-PARA-POLiTICOS-TeCNICOS-ENSEnANTES--9788471148551-i.htm?srsId=AfmBOorSQ7Vy5TZ1zsc3HJ9cTQ7naaaG3X1MZBvgN9I4xQfsT4-MZ2Ds>
- Ticona, W. (2022). Gerencia General; Memorias de la Empresa Metalúrgica Karachipampa. Potosí. <https://abi.bo/index.php/economia2/20563-posesionan-a-williams-ticona-como-gerente-general-de-la-empresa-metalurgica-karachipampa>

Forestación, reforestación y manejo con poblaciones de vegetación autóctona para controlar la erosión en los cerros Sica Sica y Churuquella en el municipio de Sucre

Afforestation, Reforestation and Management with native vegetation populations to control Erosion in the Sica Sica and Churuquella Hills in the Municipality of Sucre

PUMA – Maria¹ *, ARCE– Luis ²

¹Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Carrera de Ingeniería Ambiental.

²Ex director del INIAF (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal)

Recibido diciembre, 14, 2023; Aceptado febrero, 16, 2024

Resumen

El propósito de este estudio es analizar y determinar el grado de erosión del suelo en los cerros Sica Sica y Churuquella, ubicados en el municipio de Sucre, y proponer una estrategia de forestación y reforestación utilizando especies autóctonas para mitigar los procesos erosivos. Para la evaluación de la erosión, se empleó el sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS, que permitió la determinación de los niveles erosivos a través de la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE, por sus siglas en inglés). Los resultados indicaron que un 42% de la superficie de los cerros presenta procesos de erosión, según la clasificación de niveles erosivos. El inventario y reconocimiento de la cobertura vegetal se realizó mediante el método de cuadrantes, complementado con el uso de la aplicación "PlantNet" para la identificación de especies vegetales. Los datos obtenidos fueron verificados con fuentes bibliográficas especializadas, y se identificaron tanto los nombres científicos como los comunes de las especies autóctonas presentes en la zona. Además, se realizó un análisis de presencia-ausencia para corroborar la distribución de las especies nativas en el área de estudio. Con base en los resultados obtenidos, se presenta una propuesta de forestación y reforestación utilizando especies vegetales autóctonas, tanto arbustivas como herbáceas. La implementación de esta propuesta contribuirá a fortalecer la estructura del suelo, reduciendo los procesos erosivos y favoreciendo la conservación de los cerros Sica Sica y Churuquella.

Palabras Clave

Forestación, reforestación, especies autóctonas, erosión, suelos.

Abstract

The objective of this study is to analyze and quantify the levels of soil erosion in the Sica Sica and Churuquella hills, which are located in the municipality of Sucre. The study will also propose a strategy for afforestation and reforestation based on native species to mitigate erosive processes. Geographic Information System (GIS) tools on the ArcGIS platform were used to evaluate soil erosion using the Universal Soil Loss Equation (USLE). The results revealed that 42% of the hills' surface exhibits erosion processes, which were classified according to standardized erosion severity levels. We conducted a vegetation cover inventory and assessment using the quadrant method, supplemented by the "PlantNet" application for identifying plant species. Specialized bibliographic sources were used to validate the data and confirm the scientific and common names of native species. A presence-absence analysis corroborated the spatial distribution of these species across the study area. Based on these findings, we present a targeted afforestation and reforestation proposal that prioritizes native shrub and herbaceous species. Implementing this strategy is expected to stabilize the soil, reduce erosion rates, and promote the long-term conservation of the Sica Sica and Churuquella hills.

Keywords

Afforestation, reforestation, native species, erosion, soils.

Citación: Puma M. Forestación, Reforestación y Manejo con poblaciones de Vegetación Autóctona para controlar la Erosión en los Cerros Sica Sica y Churuquella en el Municipio de Sucre. Revista Ingeniería Sostenible Ambiental 2024,1(1),1-50

Introducción

Los bosques y sus suelos desempeñan funciones interdependientes y esenciales para el equilibrio ecológico. A lo largo de millones de años, los suelos han constituido la base estructural y funcional de los ecosistemas forestales, proporcionando el sustrato necesario para el desarrollo y mantenimiento de la vegetación arbórea. En este sentido, el suelo no solo sustenta físicamente los bosques, sino que también regula procesos ecosistémicos clave, como el ciclo de nutrientes, la descomposición de materia orgánica y la disponibilidad hídrica, procesos fundamentales para la estabilidad y resiliencia de estos ecosistemas (ONU, 2014).

En la actualidad, nuestro planeta enfrenta una alarmante pérdida de grandes masas forestales debido principalmente a la deforestación y la degradación de los ecosistemas boscosos. Estos bosques desempeñan funciones vitales, como proporcionar hábitats para diversas especies y mitigar los efectos del cambio climático (Sánchez, 2020).

Bolivia, uno de los países con mayor riqueza forestal de América Latina, alberga una superficie de 53 millones de hectáreas de bosques naturales, lo que representa aproximadamente el 48% de su territorio (Cota, 2009). Parte de este territorio está compuesto por plantaciones de eucalipto, una especie de árbol conocida por sus propiedades medicinales, especialmente en el tratamiento de afecciones respiratorias. Además, el eucalipto es una fuente importante para la industria maderera y papelera (Pineda, 2002).

No obstante, diversos estudios han documentado la degradación de los suelos y la pérdida de biodiversidad asociada al cultivo intensivo de eucaliptos. Esta especie, si bien valiosa para ciertos fines industriales, provoca efectos negativos sobre los ecosistemas circundantes, tales como la disminución de la biodiversidad.

El eucalipto, además, libera compuestos químicos alelopáticos que afectan el crecimiento de otras plantas, reduciendo la diversidad vegetal y, en consecuencia, alterando la fauna asociada (Praeli, 2020). La absorción excesiva de agua por parte de estos árboles contribuye también a la alteración de los ciclos hídricos locales.

En el municipio de Sucre, los cerros Sica Sica y Churuquella, declarados patrimonio histórico, presentan una cobertura vegetal dominada por eucaliptos de gran tamaño. Este fenómeno está acelerando la erosión del suelo y la pérdida de la vegetación nativa en la zona. Ante esta situación, resulta imperativo realizar un diagnóstico del grado de erosión y la vegetación autóctona de estos cerros, pues la identificación de especies nativas adecuadas para la restauración de los suelos permitirá no solo mitigar la erosión, sino también promover la recuperación de los ecosistemas degradados y la conservación de la biodiversidad local.

Materiales y métodos

Información cartográfica

Se trabajó con las siguientes escalas:

1:2.000 escala de trabajo y 1:18.000 escala de delimitación

Información de precipitación

Precipitaciones medias anual (10 años de registro)

Software

ArcGIS sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.

Plant net Es una aplicación diseñada para la identificación de especies vegetales. Fue desarrollada por un consorcio formado por científicos de CIRAD, INRA, INRIA, IRD, y la red Tela Botanica en virtud de un proyecto financiado por la Fundación Agropolis

➤ Área de estudio

El Cerro Churuquella se localiza a 4 km al oeste del centro de Sucre, en el municipio de Sucre, provincia Oropeza. Con una altitud de 3.116 metros sobre el nivel del mar, se erige 134 metros por encima del terreno circundante. Sus estribaciones se extienden a lo largo de aproximadamente 1.6 kilómetros de ancho. Al este de este cerro se encuentra otro importante relieve de la ciudad, el Cerro Sica Sica, ubicado a 3.123 metros sobre el nivel del mar. Ambos cerros, debido a su cercanía y prominencia en la topografía local, son conocidos en conjunto como los 'cerros custodios' o 'guardianes' de Sucre, dado su importante rol geográfico y cultural en la región

➤ Ecuación universal de pérdida de suelos (USLE)

Para la elaboración del mapa de erosión según el modelo USLE se ha procedido a la superposición de mapas con la siguiente ecuación

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Donde A es la pérdida de suelo por unidad de superficie (tn/ha.año), R es el factor lluvia o índice de erosión pluvial (MJ. mm /ha h), K es el factor erodabilidad del suelo (tn. ha.h/ha.MJ.mm), L es el factor longitud de pendiente (adimensional), S es la pendiente (adimensional), C es el factor cultivo y P es el factor prácticas de cultivo. Utilizando datos de precipitación media anual de los últimos 10 años para la determinación del factor R y datos de laboratorio de suelos para el factor de la erosionabilidad del suelo.

➤ Estudio del banco de semillas

El banco de semillas hace referencia a las semillas existentes en el suelo. Para cuantificar el tamaño o densidad del banco de propágulos que se encuentran enterrados en el suelo, se procedió a una demarcación de los sitios dentro del área de estudio. Y ubicar los puntos de muestreo en forma aleatoria en el lugar donde se ubica el experimento. Se tomó una muestra de 20 cm de profundidad en los distintos puntos seleccionados. Al homogenizar bien las muestras recolectadas y seccionarlas en dos partes iguales. Una parte de la muestra para cuantificar el tamaño del banco y la otra para determinar el potencial de regeneración

➤ Identificación de especies vegetales

Para identificar cada una de las especies encontradas se realizó el uso de un software denominado Plant net el cual permitió generar los nombres científicos y comunes de las distintas especies, información que posteriormente paso a ser corroborada con información bibliográfica.

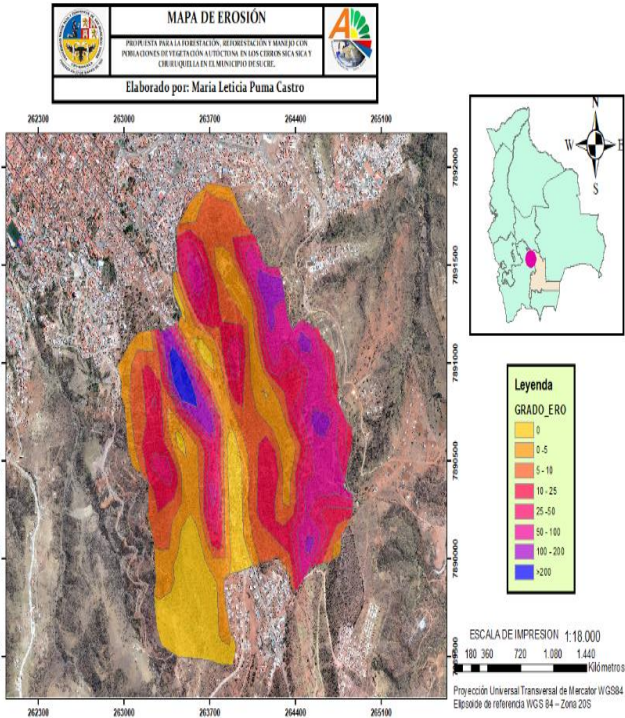
➤ Método de cuadrantes y análisis de presencia-ausencia

Se empleó una metodología combinada de muestreo por cuadrantes y análisis de presencia-ausencia para caracterizar la composición y densidad de especies herbáceas y arbustivas en los cerros Sica Sica y Churuquella. El muestreo por cuadrantes permitió la cuantificación de la densidad de especies, mientras que el análisis de presencia-ausencia facilitó la identificación de especies autóctonas y su distribución relativa. Esta aproximación metodológica integral reveló patrones de dominancia y riqueza de especies, destacando aquellas con mayor capacidad de reproducción en los ecosistemas de estudio.

➤ Resultados

Los resultados muestran los grados de los procesos erosivos en los cerros Sica Sica y Churuquella, tal como se ilustra en el mapa y de acuerdo con la clasificación de los niveles de erosión. Se observa que el 2 % del área presenta erosión leve, mientras que un 16 % muestra erosión moderada. Adicionalmente, un 16 % de los suelos presenta erosión grave, mientras que el 6 % exhibe procesos erosivos de carácter muy grave, con una tasa superior a 200 t/ha/año. En el caso específico del cerro Churuquella, se identificó que el 2 % de la superficie presenta erosión extrema. En conjunto, estos resultados indican que un 42 % del área total de los cerros está afectada por procesos erosivos, lo que resalta la magnitud de la problemática y la necesidad urgente de intervenciones para su mitigación

Figura1 Mapa de erosión de suelo



➤ Determinación y reconocimientos de especies

Con el uso de este método de cuadrantes y la aplicación plant net se pudieron identificar las siguientes especies vegetales; que también fueron corroboradas con información bibliográfica de páginas de jardines botánicos a nivel nacional como internacional.

Tabla 1 Plantas identificadas en el cerro Sica Sica

Nº	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
1	<i>Cenchrus ciliaris</i>	Pasto bufel
2	<i>Bidens pilosa</i>	Amor seco
3	<i>Taraxacum Officinale</i>	Diente de león
4	<i>Lolium multiflorum</i>	Raigrás anual
5	<i>Melilotus indicus</i>	Trébol de olor
6	<i>Stipa ichu</i>	paja brava
7	<i>Parastrephia quadrangularis</i>	Tola
8	<i>Schkuhria pinnata</i>	Jayaj pichana
9	<i>Sporobolus pyramidalis</i>	Hierba cola de rata
10	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca
11	<i>Aristida adscensionis</i>	Tres barbas abierto
12	<i>Paspalum notatus</i>	grama dulce
13	<i>Paspalum dilatatum</i>	el heno leñoso
14	<i>Baccharis juncea</i>	Suncho
15	<i>Plantago major</i>	llantén mayor
16	<i>Melilotus indicus</i>	Meliloto de flor
17	<i>Sporobolus pungens</i>	pasto niño
18	<i>Bromus unioloides</i>	cebadilla criolla
19	<i>Ephedra americana</i>	pinco pinco
20	<i>Verbena officinalis</i>	Verbena común,
21	<i>Plantago lanceolata</i>	Llantén menor
22	<i>Malvaceae</i>	Malva

Tabla 2 Plantas identificadas en el cerro Churuquella.

Nº	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
1	<i>Cenchrus ciliaris</i>	Pasto bufel
2	<i>Baccharis dracunculifolia</i>	Thola
3	<i>Grewia flava</i>	Malvaceae
4	<i>Cobretum molle</i>	Combretaceae
5	<i>Baccharis tola philippi</i>	Thola ñaka t'ula
6	<i>Stipa ichu</i>	paja brava
7	<i>Dodoaea viscosa</i>	Chakataya
8	<i>Acacia decurrens willd</i>	Copaiba
9	<i>Larrea tridentado</i>	Goberadora
10	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca
11	<i>Plantagiaceae</i>	Peregrina
12	<i>Paspalum notatus</i>	grama dulce
13	<i>Paspalum dilatatum</i>	el heno lenoso
14	<i>Acacia menanoxilon</i>	Acacia negra
15	<i>Juniperus virginiana</i>	Cedro Rojo
16	<i>Ditrichia viscosa greuther</i>	Olivarda
17	<i>Juiperus sabina</i>	Sabina rastrera
18	<i>Leucospora multifida</i>	
19	<i>Suriana</i>	Maya
20	<i>Verbena officinalis</i>	Verbena común,
21	<i>Plantago lanceolata</i>	Hierba sagrada
22	<i>Opuntia ficus indica</i>	Llantén menor
23	<i>Eragrostis curvula</i>	Chumbera

➤ Estudio del banco de semillas

Para identificar de mejor manera la existencia de las especies en estos puntos se realizó un análisis de presencia-ausencia con el método de muestreo por cuadrantes de esta manera se podrá determinar las especies específicas con las que se podrá realizar la reforestación del área de estudio

Para la determinación del banco de semillas se dividió la muestra obtenida en dos partes iguales una de ellas se procedió a pasarla por tamices y realizar el conteo de las mismas.

La otra parte sobrante se depositó en macetas de radio 5 cm y altura 15 cm dichas macetas se dejaron en condiciones similares a las del área de estudio y se realizó riegos 1 vez por semana.

Se tomaron 8 muestras para el cerro Sica Sica y 7 para el cerro Churuquilla de manera aleatoria teniendo como resultado los datos que se presentan en las siguientes tablas

Tabla 3: Tabulación de datos de las muestras del cerro Sica Sica

No	Punto	Peso (Kg)	No. de semillas tamices	No. de plántulas 3 meses	No. de plántulas 6 meses
1	19°3'50.0" s 65°14'54.9" w	0,85	1.010	2	4
2	19°3'43.6" s 65°14'54.0" w	0,95	1.250	2	5
3	19°3'39.3" s 65°14'57.0" w	0,89	940	2	3
4	19°3'46.2" s 65°15'0.71" w	0,87	1.040	1	3
5	19°3'30.06" s 65°15'2.83" w	1,22	1.230	1	2
6	19°3'30.25" s 65°15'4.55" w	0,74	1.330	3	4
7	19°3'45.55" s 65°15'5.96" w	0,96	920	3	5
8	19°3'25.4" s 65°15'5.22" w	0,80	810	3	4

Tabla 4 Tabulación de datos del cerro Churuquilla

No.	Punto	Peso (Kg)	No. de semillas tamices	No. de plántulas 3 meses	No. de plántulas 6 meses
1	19°3'50.0" s 65°14'54.9" w	0,68	1.050	3	4
2	19°3'43.6" s 65°14'54.01" w	0,87	1.320	2	5
3	19°3'39.3" s 65°14'57.0" w	0,92	1.070	2	5
4	19°3'46.2" s 65°15'0.7" w	0,88	540	0	0
5	19°3'30.0" s 65°15'2.8" w	1,14	1.650	2	4
6	19°3'30.2" s 65°15'4.5" w	0,96	1.430	1	2
7	19°3'45.5" s 65°15'5.9" w	0,84	1.020	3	5

Se aprecia en las tablas los puntos y pesos de cada muestra, el radio y altura de la maceta en la que se dispuso el suelo restante, el número de semillas obtenidos por muestra en los tamices y el número de plántulas que crecieron en un periodo de 3 y 6 meses en los respectivos 8 puntos del cerro Sica Sica y 7 puntos del cerro Churuquilla.

➤ Propuesta de forestación y reforestación

Criterios para la determinación de áreas de forestación y reforestación

La selección de las áreas prioritarias para las actividades de forestación y reforestación se basó en los siguientes criterios:

Vulnerabilidad ambiental: Se priorizaron zonas con escasa cobertura vegetal y limitado acceso a fuentes hídricas, lo que las hace altamente susceptibles a procesos de degradación.

Factibilidad de acceso: Se consideraron áreas con pendientes escarpadas pero accesibles, dado que estas requieren intervenciones constantes para la plantación, riego y monitoreo. Además, su proximidad a zonas urbanas facilita la logística de restauración ecológica.

Control de erosión: Se identificaron unidades de terreno expuestas a procesos erosivos, de modo que su forestación y reforestación contribuyan a reducir la degradación del suelo y mejorar su estabilidad estructural.

Especies seleccionadas y estrategia de establecimiento

El proceso de forestación y reforestación no se limitará a especies arbóreas y arbustivas, sino que también incluirá especies herbáceas con alta capacidad de fijación del suelo. La selección de especies se realizó en función de su adaptabilidad a las condiciones edáficas y climáticas de los cerros Sica Sica y Churuquella.

Para garantizar la disponibilidad de especies nativas, los plantines de arbustos autóctonos, como thola (*Baccharis dracunculifolia*) y acacia (*Acacia* spp.), se gestionarán a través del vivero municipal. En el caso de las especies herbáceas, su regeneración se favorecerá mediante el aprovechamiento de bancos de semillas naturales y la dispersión estratégica de semillas recolectadas, sincronizando esta actividad con las temporadas óptimas de siembra.

➤ Plan de ejecución y metas de reforestación

Se intervendrá una superficie total de 1.074.711 m² en el cerro Sica Sica y 519.270 m² en el cerro Churuquella, con la plantación de 32.000 plantines de especies nativas. Para la ejecución eficiente de este proceso, se implementará un programa de forestación y reforestación con campañas mensuales, integrando la participación de instituciones educativas previamente capacitadas.

Cada jornada de reforestación contará con la participación de 1.000 voluntarios distribuidos en dos turnos (mañana y tarde), con una meta de cinco plantines por persona. Se estima que en seis meses se alcanzará la cobertura vegetal planificada.

El riego se realizará una vez por semana, considerando la capacidad de adaptación de estas especies a condiciones de estrés hídrico. Este programa busca no solo la restauración ecológica del área intervenida, sino también la concienciación y participación activa de la comunidad en la conservación ambiental.

Discusión

La propuesta de forestación y reforestación con especies autóctonas en los cerros Sica Sica y Churuquella, dentro del municipio de Sucre, tiene como objetivo principal la conservación de estos ecosistemas, los cuales han sido declarados patrimonio histórico del municipio. Sin embargo, su protección no solo responde a su valor cultural, sino también a su importancia ecológica, ya que constituyen una de las principales áreas de cobertura vegetal en la región.

El análisis mediante sistemas de información geográfica permitió una estimación de la pérdida de suelo en estos cerros, proporcionando información crítica para el diseño de estrategias de mitigación.

La erosión del suelo en estas áreas representa una amenaza significativa para la estabilidad ecológica y la disponibilidad de servicios ecosistémicos, lo que resalta la necesidad de implementar medidas efectivas para su control y recuperación.

El análisis de la vegetación existente permitió identificar que las especies predominantes son herbáceas y arbustivas, lo que sugiere su idoneidad para los procesos de forestación y reforestación. Se destacan especies herbáceas como paja brava (Jarava ichu, anteriormente *Stipa ichu*) y especies arbustivas como thola (*Baccharis dracunculifolia*) y acacia (*Acacia* spp.), debido a su capacidad de adaptación a las condiciones edáficas y climáticas de los cerros Sica Sica y Churuquella.

Dado que las áreas de pendiente escarpada presentan una menor cobertura vegetal y un suministro hídrico limitado, se considera prioritario iniciar la forestación y reforestación en estos sectores, tal como se evidencia en el mapa de erosión.

Conclusiones

El análisis del grado de erosión de los cerros Sica Sica y Churuquella se llevó a cabo mediante el software ArcGIS, permitiendo la clasificación de los niveles erosivos en función de la tasa de pérdida de suelo. Los resultados indican que el 42 % del área total de ambos cerros presenta algún grado de erosión, con una distribución específica según la severidad del proceso: erosión leve (10-25 t/ha/año): 2 % del área, erosión moderada: 16 %, erosión severa (visible a simple vista): 16 %, erosión muy grave: 6 %, erosión extrema (>200 t/ha/año): 2 %. Estos hallazgos evidencian la necesidad de implementar medidas de restauración ecológica para mitigar la degradación del suelo y recuperar la funcionalidad ecosistémica de la zona. Para la restauración ecológica, se propone intervenir en un área de 1.074.711 m² de un total de 1.610.227 m² en el cerro Sica Sica y 519.270 m² de un total de 1.061.095 m² en el cerro Churuquella, con la plantación de aproximadamente 32.000 plantines de especies arbustivas (thola y acacia).

Esta estrategia permitirá no solo la estabilización del suelo y la reducción de la erosión, sino también la recuperación de los servicios ecosistémicos asociados a estos cerros, contribuyendo a su conservación y a la resiliencia del paisaje frente a procesos de degradación.

Referencias

- Acosta Arce Luis, R. A.-A. (2002). El banco de propágulos de malezas en el agro ecosistema: conocimiento actual y propuesta metodológica para su estudio <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5039754>
- Alvarado, V. (2016). La vegetación como factor de control de la erosión Article · February 2016. ResearchGate, 14.
- Cota, E. F. (2009). Efecto de las plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.) sobre los suelos de comunidades asentadas en la red ferroviaria Cochabamba-Cliza. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892009000100013&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- FAO. (11 de mayo de 2015). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/soils-2015/news/newsdetail/es/c/285875/>
- Garrido, D. (2022). Las 10 mejores aplicaciones para identificar plantas: <https://www.revistaad.es/decoracion/jardines-yplantas/articulos/mejores-aplicaciones-para-identificar-plantas/26204>
- IDER Ingeniería y Desarrollo Rural, S. (2017). euskadi.eus. Mapa del grado de erosión hídrica de los suelos: https://www.euskadi.eus/gobierno-vasco/-/informe_estudio/mapa-del-grado-deerosion-hidrica-de-los-suelos-memoria/

- Juan G. Bedoya-Patiño, J. V.-V.-V. (2014). Banco de semillas del suelo y su papel en la recuperación de los bosques tropical. boletín científico museo de historia natural, <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v14n2/v14n2a04.pdf>
- Lozada, G. S. (12 de julio de 1996). Cebem. Recuperado el 11 de febrero de 2022, de Cebem <https://cebem.org/revistaredesma/vol7/pdf/legislacion/ley-forestal-bolivia.pdf>
- Mostacedo, B. (2000). Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Obtenido de Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal: https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACL893.pdf
- Reynaga Barrientos, A. (2019). Sucre posee más de 176 mil árboles de diversas especies. Sucre posee más de 176 mil árboles de diversas especies, pág. 1. <https://correodelsur.com/panorama/20190519/sucre-posee-mas-de-176-mil-arboles-de-diversas-especies.html>
- Sánchez, J. (2020). EcologíaVerde. Obtenido de EcologíaVerde: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-reforestacion-y-su-importancia-1269.html>

Propuesta de un sistema de gestión ambiental para la planta potabilizadora de agua Los Ángeles B de ELAPAS

Proposal for an environmental management system for the ELAPAS Los Ángeles B water purification plant

ESPINDOLA – Micaela ^{1*} & CORTES – Said²

^{1,2} *Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Carrera de Ingeniería Ambiental*

² *Consultor Ambiental*

Recibido Diciembre, 01, 2023; Aceptado marzo, 30, 2024

Resumen

La planta potabilizadora Los Ángeles B (PPLB), dedicada a la distribución de agua potable a las zonas altas de sucre, es una actividad de alto riesgo ambiental. Sus operaciones generan una serie de impactos negativos al medio ambiente. Además, la empresa no cuenta con un sistema de gestión ambiental que le permita mitigar estos impactos y contribuir a la sostenibilidad. Por esta razón, el presente proyecto de grado propone un Sistema de Gestión Ambiental basado en la norma ISO 14001:2015.

Se llevó a cabo un diagnóstico ambiental para identificar los impactos ambientales que afectan al medio ambiente. Para ello, se realizó una auditoría ambiental interna con el respectivo llenado de una lista de verificación. Posteriormente se evaluó de acuerdo a la metodología cualitativa desarrollada por Vicente Conesa.

La metodología empleada en el diseño, fue planteada en base a las directrices que establece la ISO 14001:2015 y a partir de los aspectos ambientales significativos, se propusieron medidas organizativas, planificación de actividades, responsabilidades, prácticas y procedimientos para mantener al día la política y objetivos ambientales para impulsar la mejora continua del rendimiento ambiental de la PTAP, demostrando su compromiso con la conservación del medio ambiente, todo esto con el liderazgo y compromiso de la gerencia.

Palabras Clave

Sistema de gestión ambiental, ISO 14001:2015, mejora continua, política ambiental, Planta de tratamiento de agua potable (PTAP)..

Abstract

The Los Ángeles B (PPLB), water treatment plant, responsible for supplying potable water to the highland areas of Sucre, operates within a context of significant environmental risk. Its activities generate various negative environmental impacts, and currently, the facility lacks an Environmental Management System (EMS) to mitigate these effects and promote sustainability. This study proposes the implementation of an EMS based on the ISO 14001:2015 standard.

An environmental diagnosis was conducted to identify the environmental impacts associated with the plant's operations. This involved performing an internal environmental audit using a comprehensive checklist. Subsequently, impacts were qualitatively assessed following the methodology developed by Vicente Conesa.

The EMS design methodology was structured according to the guidelines of ISO 14001:2015. Based on identified significant environmental aspects, organizational measures, activity planning, assignment of responsibilities, and operational practices and procedures were proposed to maintain up-to-date environmental policies and objectives. These initiatives aim to drive continuous improvement in the plant's environmental performance, demonstrating its commitment to environmental conservation, supported by strong leadership and management engagement.

Keywords:

Environmental management system, ISO 14001:2015, continuous improvement, environmental policy, Drinking water treatment plant (PTAP).

Citación: Espíndola M. Propuesta de un sistema de gestión ambiental para la planta potabilizadora de agua Los Ángeles B de ELAPAS Revista Ingeniería Sostenible Ambiental 2024,1(1),1-50

Introducción

La ISO estableció la serie de normas ISO 14000 para proporcionar un marco internacional para el control de los impactos generados por las actividades económicas y la protección del medio ambiente. La ISO 14001 es el estándar más conocido de esta serie, publicado en 1996 y desarrollado por el Comité Técnico de Normalización ISO/TC 207/SC 1, que especifica los requisitos para la implementación de un sistema de gestión ambiental (SGA).

La norma ISO 14001 ha sido actualizada dos veces para mantener su relevancia y aplicabilidad. La versión de 2004 incluyó mejoras en la redacción y definiciones, mientras que la versión actual de 2015 busca no solo la protección ambiental, sino también fortalecer las estrategias internas de la organización y considerar los impactos ambientales durante todo el ciclo de vida del producto o servicio (Alzate, Ramírez, & Alzate, 2018).

La Empresa Local de Agua Potable y Alcantarillado Sucre (ELAPAS) es una empresa pública descentralizada del municipio de Sucre, creada el 2 de septiembre de 1965 y reorganizada en 1972 mediante decretos supremos, se encarga de administrar los recursos hídricos de las cuencas Ravelo y Cajamarca, transporta el agua cruda desde sus fuentes, potabiliza y distribuye agua potable; en alcantarillado sanitario, recolecta, conduce, trata y evacúa las aguas servidas. La sostenibilidad de ELAPAS, se realiza a través de la cobranza por los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario, de acuerdo a una estructura tarifaria aprobada en el contrato de concesión, ahora Licencia de Funcionamiento (ELAPAS, 2023).

La planta potabilizadora de agua "LOS ANGELES B" dependiente de ELAPAS fue creada el 25 de mayo del 2022 con el financiamiento del Gobierno Central a través del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, se ejecutó el proyecto para el beneficio de más de 6 mil familias de la zona Lajastambo y zona Norte.

La planta de tratamiento de agua potable contempla las unidades de pre-decantación, decantación y filtración. (ELAPAS, 2023)

Este artículo presenta una propuesta de SGA basado en la norma ISO 14001:2015 para la PPLB. La propuesta incluye los siguientes elementos:

- Política ambiental: La política ambiental de la PPLB debe establecer el compromiso de la empresa con la protección del medio ambiente.
- Planificación: La planificación debe incluir la identificación de los aspectos e impactos ambientales de la planta, el establecimiento de objetivos y metas ambientales, y el desarrollo de programas de gestión ambiental.
- Implementación y operación: La implementación y operación del SGA debe garantizar que se cumplan los objetivos y metas ambientales.

Verificación y revisión: El SGA debe ser verificado y revisado periódicamente para garantizar su eficacia.

Materiales y métodos

a) Métodos

- Auditoría interna: Se realizó una auditoría ambiental interna para ver el estado actual de la planta potabilizadora Los Ángeles B, tener un diagnóstico inicial donde tiene por objetivo evaluar el cumplimiento de las normativas y condiciones ambientales aplicables en la operación de la planta de tratamiento de agua potable. Identificar los aspectos ambientales generados por las actividades de la planta. Examinar los archivos, papeles, descubrimientos, informes de detección y testimonios de cualquier prueba concreta. Donde se encontraron 20 hallazgos, esto se realizó mediante una lista de verificación al personal de la planta Los Angeles B.
- Método Conesa: Es una herramienta utilizada en la evaluación de impactos ambientales pueden clasificarse en base a ciertos criterios, dicha clasificación es subjetiva, y depende de cada persona el criterio a usar al momento de clasificar algún impacto (Conesa, 2010).

Tabla 1 Criterios método conesa

Signo		Intensidad (i)	
Beneficioso	+	Baja	1
Perjudicial	-	Med	2
		Alta	3
		Muy alta	8
		Total	12
Extensión (EX)		Momento (MO)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Medio plazo	2
Extenso	4	Inmediato – Corto	
Total	8	plazo	4
Crítica	12	Crítico	+4
Persistencia (PE)		Reversibilidad (RV)	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Medio plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
Sinergia (SI)		Acumulación (AC)	
Sin	1	Simple	1
sinergismo	2	Acumulativo	4
Sinérgico	4		
Muy sinérgico			
Efecto (EF)		Periodicidad (PR)	
Indirecto	1	Irregular	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
Recuperabilidad (MC)			
Recuperable inmediato	1		
Recuperable	2		
Mitigable	4		
Irrecuperable	8		

Tabla 1 Requisitos de la ISO 14001

PLANIFICAR				HACER	VERIFICAR	ACTUAR					
SGA	Contexto de la organización	Comprensión, organización y contexto	Liderazgo y compromiso	Acciones para tratar riesgos	Recursos	Planificación y control operativo	Seguimiento, medición, análisis y evaluación	No conformidad y acción correctiva			
		Liderazgo y compromiso	Acciones para tratar riesgos	Recursos	Planificación y control operativo	Seguimiento, medición, análisis y evaluación	No conformidad y acción correctiva				
		Liderazgo y compromiso	Acciones para tratar riesgos	Recursos	Planificación y control operativo	Seguimiento, medición, análisis y evaluación	No conformidad y acción correctiva				
		Liderazgo y compromiso	Acciones para tratar riesgos	Recursos	Planificación y control operativo	Seguimiento, medición, análisis y evaluación	No conformidad y acción correctiva				
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Roles, responsabilidad y autoridad organizativa				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante emergencia	Auditoria interna	Mejora Continua
Objetivos ambientales y planificación para conseguirlo				Política ambiental	Competencia	Concienciación	Comunicación	Información documentada	Preparación y respuesta ante		

b) Materiales:

Para el diseño del SGA se seleccionaron diferentes materiales como ser:

- Lista de verificación realizada para el personal de la planta Los Ángeles B

- Encuesta: Realizada a la comunidad cercana la planta
- Política ambiental: Realizada en base a los aspectos ambientales y aprobada por la alta dirección
- Objetivos y metas ambientales: Planteadas para mejorar el desempeño ambiental
- Trípticos: Entregados en los talleres de capacitación
- Programas: Para mejora del rendimiento ambiental

Resultados

➤ Auditoría Ambiental Interna

Esta herramienta de gestión implica una evaluación sistemática, documentada, periódica e imparcial de cómo la organización, la dirección y los equipos ambientales operan para preservar el medio ambiente. Su objetivo es mejorar el control de las prácticas ambientales y evaluar el cumplimiento de las políticas ambientales de la empresa, incluyendo los requisitos legales. Este enfoque de gestión es el más apropiado para lograr uno de los objetivos específicos, que consiste en realizar un diagnóstico ambiental adecuado para la planta de tratamiento de agua potable “LOS ANGELES B” y sus actividades diarias en términos del impacto que tienen en el entorno. Esta etapa es crucial en todo el proceso de auditoría, ya que es aquí donde se llevan a cabo todas las acciones planificadas y predefinidas según el plan de auditoría ambiental y el manual de procedimientos específicos.

Tabla 3 Hallazgos Encontrados

No	HALLAZGOS
1	No se realizan actividades de gestión ambiental
2	No existe una base de datos ambientales en la planta, solo en la central
3	La planta no tiene definidas metas y/o objetivos ambientales
4	No se realizan capacitaciones sobre educación ambiental
5	No cuentan con un inventario de emisiones contaminantes atmosféricos
6	Existe presencia de malos olores en la purga de lodos
7	La Planta no cuenta con un área de almacenamiento de combustibles
8	Existe presencia de dióxido de carbono cuando funciona el generador eléctrico
9	Existe emisión partículas en suspensión en el área de pesaje de reactivos
10	No se realizan las mediciones de gases y/o partículas suspendidas emitidas a la atmósfera
11	Existe evaporación en función a la variación de temperatura durante el día
12	Se realiza el monitoreo del nivel de ruido ambiental solo cuando se presentan informes
13	No se realiza monitoreo del nivel de ruido industrial de la Planta
14	No se realiza la aplicación de medidas de conservación de suelo
15	La planta no entrega sus residuos a empresas colectoras de residuos clasificados
No	HALLAZGOS
16	No se ha identificado opciones para la reducción del consumo de agua; en el lavado de tanques, área de laboratorio, baños, aseo de operarios
17	No existe un programa de monitoreo para detectar el nivel de contaminación de las aguas subterráneas y el suelo
18	Existen materiales tóxicos o sustancias peligrosas como el cloro
19	planta realiza la forestación solo dentro de ella
20	La planta no realiza campañas sobre la reforestación

Tabla 4 Evaluación Ambiental Método Conesa

Nº	Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Factor	Signo	Intensidad (I)	Extensión (EX)	Momento (MO)	Persistencia (PE)	Reversibilidad (RV)	Recuperabilidad (M)	Sinergia (SI)	Acumulación (AC)	Efecto (EF)	Periodicidad (PR)	Importancia	Relevancia
1	Derrame producto químico	Deterioro de la calidad del aire por emisiones	Aire	-	4	2	4	2	4	1	1	4	4	4	40	Moderado
	Generación de efluente con sólidos en suspensión	Alteración de la calidad del agua efluente	Agua	-	1	1	4	1	1	1	1	1	4	4	22	Irrelevante
2	Generación de lodos	Deterioro del suelo	Suelo	-	4	4	4	2	1	4	4	4	4	4	47	Moderado
		Deterioro de la calidad del aire	Aire	-	2	2	4	2	1	1	1	1	1	1	23	Irrelevante
3	Falta de control en disposición de residuos	Deterioro del ecosistema	Suelo	-	2	2	4	1	1	4	4	4	4	4	36	Moderado
4	Generación de polvo	Deterioro de la calidad del aire	Aire	-	2	2	4	1	1	4	1	1	4	1	27	Moderado
5	No hay almacenamiento adecuado de acuerdo a las recomendaciones de cada producto	Deterioro de la calidad de aire	Aire	-	2	1	4	1	1	4	1	1	4	4	28	Moderado
6	Falta de tanque de recirculación	Perdidas de agua	Agua	-	4	1	4	2	4	1	1	4	4	4	38	Moderado
7	Consumo de energía en los equipos, bombas y similares de forma diaria	Agotamiento de los recursos naturales	Socioeconómico	-	4	1	2	4	4	4	1	1	4	4	38	Moderado
8	Generación de ruido	Daño psicomotriz	Ruido	-	4	1	4	1	1	4	1	1	4	2	32	Moderado
9	Inadecuado protocolo de muestras	Contaminación de la muestra	Agua	-	2	1	4	4	4	1	1	1	4	4	31	Moderado

➤ Sistema de Gestión Ambiental

La planta de tratamiento con el objetivo de dar respuesta a uno de sus principios empresariales que es el de impulsar la sostenibilidad en sus actividades, es que accedió a la creación del presente diseño de un sistema de gestión ambiental de acorde a los estándares de la norma ISO 14001 2015

Figura 1 Política Ambiental de la Empresa



Figura 2 Planificación, objetivos y metas ambientales

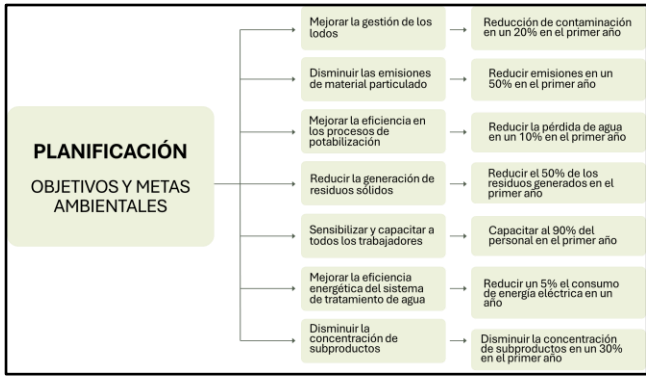


Figura 3 Programas de Gestión Ambiental

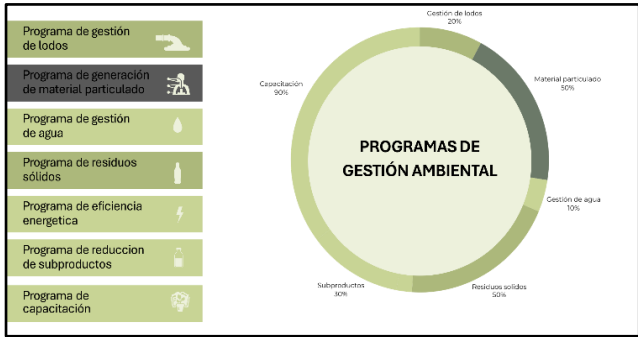


Figura 4 Apoyo del sistema de Gestión Ambiental

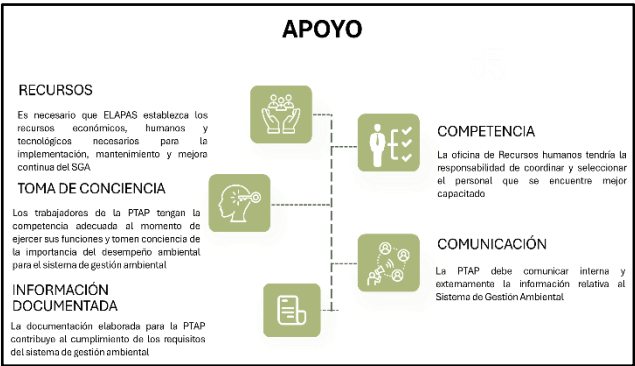


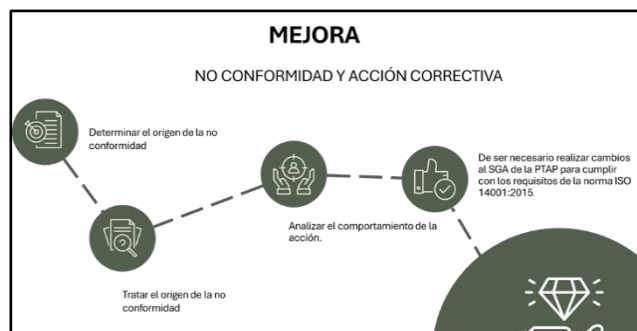
Figura 5 Operación del sistema de Gestión Ambiental



Figura 6 Evaluación del desempeño



Las diferentes figuras muestran los procesos y prácticas para reducir el impacto ambiental de la empresa y desempeñar su actividad de forma respetuosa con el medio ambiente, bajo los lineamientos de la mejora continua.

Figura 7 Mejora continua

Discusión

En el proceso de sedimentación y filtración de la planta, se genera la mayor parte de los lodos, los cuales actualmente no están siendo tratados de manera adecuada. En lugar de someterse a un tratamiento apropiado, estos lodos se descargan directamente al sistema de alcantarillado, el cual desemboca en el río Quirpinchaca. Aunque en la actualidad la cantidad de lodos generados es relativamente baja, es importante señalar que, a largo plazo, este proceso podría tener efectos no evaluados, cuyas consecuencias ambientales aún no se han cuantificado. Se identificó también la necesidad urgente de implementar campañas de sensibilización sobre el consumo responsable de recursos, como la energía eléctrica, ya que su uso es constante tanto en el área administrativa como en los procesos operativos, durante todo el turno. Otro aspecto crítico es la falta de un sistema de recirculación de agua, lo que provoca pérdidas innecesarias y disminuye la eficiencia de la planta. La incorporación de un tanque de recirculación podría optimizar el uso del recurso y contribuir a mejorar la sostenibilidad del proceso.

En cuanto a los procesos realizados en las áreas administrativa y de laboratorio, se observó que, si bien se realizan pruebas fisicoquímicas diarias para verificar el cumplimiento de los parámetros de calidad establecidos, la planta carece de un sistema adecuado para el manejo de desechos

La ausencia de un punto ecológico dificulta la correcta clasificación de los residuos y limita las posibilidades de reciclaje. Además, los residuos líquidos generados durante las pruebas no son tratados de manera adecuada ni se ha evaluado su disposición final, siendo actualmente vertidos directamente en los desagües del laboratorio.

Otro factor a considerar son las emisiones acústicas generadas por el uso de bombas en los procesos de potabilización, las cuales, aunque moderadas, contribuyen al daño psicomotriz de los operarios, afectando su bienestar en el entorno de trabajo.

También se evaluó el manejo de productos químicos, destacándose la falta de medidas de seguridad en caso de derrames. La planta no cuenta con procedimientos apropiados ni con equipos para manejar correctamente estos incidentes, lo que representa un riesgo potencial tanto para los trabajadores como para el medio ambiente.

Por último, si bien la mayoría de los productos químicos reciben sus respectivas etiquetas, se observó que el cuarto de almacenamiento carece de ventilación adecuada y no se considera la compatibilidad entre los productos, lo cual puede dar lugar a reacciones químicas no deseadas y peligrosas.

Es importante señalar que, a pesar de los desafíos identificados, la alta dirección ha aprobado la política ambiental, así como los objetivos y metas asociados. Los programas propuestos se han diseñado con el fin de mejorar el desempeño ambiental de la planta y mitigar los impactos negativos observados en este análisis.

Conclusiones

La implementación de un sistema de gestión ambiental (SGA) en la planta potabilizadora de agua "Los Ángeles B" de E.L.AP.A.S. es una iniciativa fundamental para optimizar la gestión ambiental de la instalación y asegurar la calidad del agua potable suministrada a la población.

Este SGA propuesto ofrecerá una serie de beneficios tangibles para la planta, entre los cuales destacan la reducción de los impactos ambientales negativos, la mejora en la eficiencia de los procesos de tratamiento del agua, la disminución de los costos operativos y de mantenimiento, así como el incremento de la satisfacción tanto de los clientes como de la población en general.

Durante un diagnóstico ambiental realizado mediante auditoría y el método Conesa, se identificaron diversas fuentes de contaminación y áreas problemáticas dentro de la Planta "Los Ángeles B". Entre las principales fuentes de contaminación se encuentran la generación de lodos, el derrame de sulfato de aluminio durante la dosificación, y la ausencia de un sistema de recirculación de agua. Adicionalmente, se observó que, a largo plazo, la generación de lodos podría generar un impacto ambiental significativo si no se toman las medidas correctivas adecuadas. También se detectaron deficiencias en la disposición de los lodos, el uso ineficiente de recursos naturales y la falta de capacitación ambiental del personal en el proceso de potabilización.

Con el fin de abordar estos problemas y mejorar la gestión ambiental de la planta, se han establecido los lineamientos necesarios para el SGA, incluyendo la elaboración de una política ambiental, la definición de objetivos y metas ambientales claras, y la implementación de programas de gestión que permitirán optimizar el desempeño ambiental de la instalación. Estas acciones están orientadas a promover un enfoque integral y sostenible en la operación de la Planta "Los Ángeles B", garantizando no solo la eficiencia en los procesos de potabilización, sino también el compromiso con la protección del medio ambiente y el bienestar de la comunidad.

Referencias

Alzate, A., Ramírez, J. & Alzate, S., 2018. Revista Chilena de Economía y Sociedad. *El modelo de gestión ambiental ISO 14001: evolución y aporte a la sostenibilidad organizacional*.

Conesa, V., 2010. *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. s.l.:Multi prensa.

Cubas, G., & Mendoza, K. (28 de Junio de 2018). *edu*. Obtenido de *edu.pe*: https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1464/1/TL_CubasLopezGina_MendozaCabreraKaren.pdf?fbclid=IwAR3t-YFs4q_emVg3jAgKjN6igKnWp9WtMpUBFBWEwSWvfsjsBDPiFd0TbWQ

ELAPAS . (2023). *EMPRESA LOCAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE SUCRE* . Recuperado el abril de 2023, de <https://www.elapas.com.bo/contenido.php?id=8#:~:text=Principales%20funciones%20de%20ELAPAS,servicios%2C%20para%20su%20respectiva%20aprobaci%C3%B3n>.

Ibnoorca. (mayo de 2023). *org*. Obtenido de *org.com*: <https://www.ibnoorca.org/es/certificaciones/nbiso-14001-sistemas-de-gestion-ambiental-sga>

Nuevas Normas ISO Escuela Europea de Excelencia . (14 de 12 de 2014). *Iso-14001*. Obtenido de *Iso-14001.com*: <https://www.nueva-iso-14001.com/2014/12/iso-14001-las-ventajas-de-implantar-un-sga/>

Rodriguez, J., Alcaide, A., Castro, J. F., & Rodriguez, P. (2012). *Auditoria Ambiental* . Madrid : Uned

Evaluación del impacto por vertimientos de aguas residuales domésticas, aplicando el índice de contaminación de materia orgánica (ICOMO) en el río Sococha, ubicado entre Villazón (Bolivia) y La Quiaca (Argentina)

Evaluation of the impact of dumping of domestic wastewater, applying the organic matter pollution index (ICOMO) in the Sococha river, located between Villazón (Bolivia) and La Quiaca (Argentina)

SEJAS – Alina^{1*}, GONZALES – Carlos²

^{1,2}Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Carrera de Ingeniería Ambiental.

Recibido Diciembre 14, 2023; Aceptado mayo, 2024

Resumen

Los índices de contaminación (ICO) se emplean para evaluar el nivel de contaminación de cuerpos de agua específicos, considerando un conjunto de parámetros seleccionados de manera meticulosa, los cuales están estrechamente vinculados con los procesos de contaminación particulares que afectan a dicha fuente. Un ejemplo de estos índices es el Índice de Contaminación de Materia Orgánica (ICOMO), que toma en cuenta parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO5), el Oxígeno Disuelto (OD) y los Coliformes Totales. En el presente estudio, se aplicó el método ICOMO para determinar el grado de contaminación orgánica del río Sococha. Se realizaron muestreos en cuatro estaciones, previamente seleccionadas tras una visita de campo al área de estudio. A partir de los resultados obtenidos para los parámetros mencionados, se calculó el índice de contaminación correspondiente, obteniendo las siguientes calificaciones: Punto 1 (Buena: 0,35), Punto 2 (Pésima: 0,99), Punto 3 (Pésima: 0,93) y Punto 4 (Media: 0,58). Estos resultados evidencian una notable degradación de la calidad del agua a lo largo del río, reflejando una disminución en la calidad del agua de un punto a otro. La validación del método ICOMO se realizó mediante la comparación de los valores obtenidos con los límites establecidos en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH). En general, los resultados de los análisis de laboratorio superaron los límites permisibles establecidos por la normativa, lo que pone de manifiesto la necesidad urgente de implementar medidas de control y mitigación para mejorar la calidad del agua en la cuenca del río Sococha.

Palabras Clave

Río Sococha, vertimientos, aguas residuales, Reglamento de Materia en Contaminación Hídrica (RMCH)..

Abstract

Pollution indices (PIs) are widely used to assess the contamination levels of specific water bodies by integrating a carefully selected set of parameters closely linked to the particular pollution processes affecting the source. One such index is the Organic Matter Pollution Index (ICOMO), which incorporates parameters such as 5-day Biochemical Oxygen Demand (BOD₅), Dissolved Oxygen (DO), and Total Coliforms. In this study, the ICOMO method was applied to evaluate the degree of organic pollution in the Sococha River. Sampling was conducted at four stations, selected following a preliminary field survey of the study area. Based on the measured parameters, the pollution index values were calculated, yielding the following ratings: Station 1 (Good: 0.35), Station 2 (Poor: 0.99), Station 3 (Poor: 0.93), and Station 4 (Moderate: 0.58). These results reveal a significant deterioration in water quality along the river's course, indicating a progressive decline from upstream to downstream points. The validity of the ICOMO method was confirmed by comparing the obtained values with the thresholds established in the Water Pollution Regulation (RMCH). Laboratory analyses generally exceeded the permissible limits set by the regulation, underscoring the urgent need to implement control and mitigation measures to improve water quality in the Sococha River basin.

Keywords

Sococha River, discharges, wastewater, Water Contamination Material Regulation (RMCH).

Citación: Sejas A. Evaluación del Impacto por Vertimientos de Aguas Residuales Domésticas, aplicando el Índice de Contaminación de Materia Orgánica (ICOMO) en el Río Sococha, ubicado entre Villazón (Bolivia) y La Quiaca (Argentina) *Revista Ingeniería Sostenible Ambiental* 2024,1(1),1-50

ISSN-Impreso: 3080-6704

ISSN-Virtual: 3080-6712

Revista Ingeniería Sostenible Ambiental. Todos los derechos reservados

Corresponde al Autor (Correo electrónico:

alinasejas1966@gmail.com) *Investigador primer autor.

© Revista Ingeniería Sostenible Ambiental

<https://revistas.usfx.bo/index.php/ingsostenibleambiental>

Introducción

La contaminación de los recursos hídricos constituye una de las principales amenazas ambientales y sanitarias a nivel global, ya que la presencia creciente de contaminantes en cuerpos de agua compromete la seguridad y la salud de los seres vivos. Bolivia no es ajena a esta situación, presentando una gestión deficiente de los recursos hídricos que ha derivado en la contaminación significativa de numerosos cuerpos de agua, principalmente debido al vertimiento de aguas residuales provenientes de cooperativas mineras, industrias petroleras, establecimientos industriales y actividades domésticas, muchas veces sin tratamiento previo adecuado (FAO, 2016). Un ejemplo destacado es el Río Sococha, ubicado en el municipio de Villazón, departamento de Potosí, que actúa como límite natural entre Bolivia y Argentina y presenta una longitud aproximada de 70 km (Arancibia et al., 2007).

En este contexto, el monitoreo sistemático de las aguas del Río Sococha resulta fundamental para determinar el grado de contaminación por materia orgánica presente en el sistema. Para ello, se emplea el Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), una herramienta desarrollada en Colombia que destaca por su facilidad metodológica y su eficacia en la cuantificación de la contaminación orgánica. La obtención precisa del grado de afectación permitirá, además, proponer medidas de mitigación y control adecuadas, contribuyendo a la gestión sostenible de los recursos hídricos y a la protección de la salud ambiental en la región de estudio.

Materiales y métodos

Para evaluar la contaminación por materia orgánica de un afluente mediante la aplicación del ICOMO, se requieren de dos parámetros físico-químicos y un microbiológico, que abarcan este tipo de contaminación, los cuales son: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), porcentaje de saturación del Oxígeno Disuelto y Coliformes Totales, que en conjunto evidencian la contaminación orgánica (Valverde et al., 2015).

La fórmula general para el cálculo es:

$$ICOMO = \frac{1}{3} [I_{DBO5} + I_{Coli. To} + I_{\%Oxigeno}] \quad (Ec. 1)$$

Las siguientes condiciones se tendrán en cuenta para cada parámetro de ser su caso:

Para el caso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno:

$DBO5 > 30$ mg/L tendrá un valor de $IDBO5 = 1$

$DBO5 < 2$ mg/L tendrá un valor de $IDBO5 = 0$

Para los Coliformes Totales:

Coliformes Totales > 20000 NMP/100ml tendrá un valor de I Coliformes Totales = 1

Coliformes Totales < 500 NMP/100ml tendrá un valor de I Coliformes Totales = 0

Por último, el % de saturación del Oxígeno Disuelto: % Oxígeno $> 100\%$ tendrán un valor de $I \%Oxigeno = 0$

En el caso que no se cumplan las condiciones expresadas anteriormente, se realizarán los cálculos para cada parámetro individualmente como se presenta a continuación:

$$I_{DBO5} = -0.05 + 0.7 * \log_{10} DBO_5 \left(\frac{mg}{L} \right) \quad (Ec. 2)$$

$$I_{Coliformes Totales} = -1.44 + 0.56 * \log_{10} ColiformesTotales \left(\frac{NMP}{100ml} \right) \quad (Ec. 3)$$

$$I_{\%Oxigeno} = 1 - 0.01 * \%Oxigeno \quad (Ec. 4)$$

$$\%Oxigeno = \frac{Oxigeno Disuelto \left(\frac{mg}{l} \right)}{Saturacion de Oxigeno Disuelto \left(\frac{mg}{l} \right)} * 100 \quad (Ec. 5)$$

Con el resultado final entre la sumatoria de los tres parámetros, se obtiene un valor entre los rangos de 1 y 0, indicando de forma cualitativa el grado de contaminación donde para cada rango se clasifica por medio de colores, el azul indica calidad Muy buena, verde calidad Buena, amarillo calidad Media, naranja calidad Mala y por último rojo calidad Pésima (Aguilar et al., 2018)

Tabla 1 Escala de valores para el índice ICOMO

Esca la de valores para ICOMO	Grado de contaminación	
RANGO	Concentración	Indicador
0-0,2	Muy baja	Muy buena
>0,2-0,4	Baja	Buena
>0,4-0,6	Media	Media
>0,6-0,8	Alta	Mala
>0,8-1,0	Muy alta	Pésima

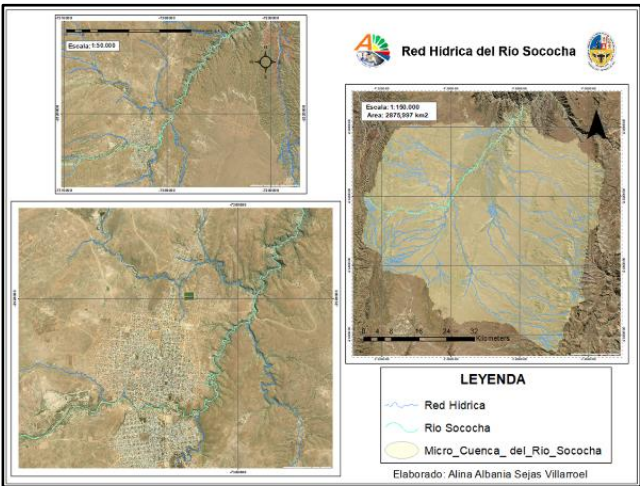
Parámetros

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitoreados se seleccionaron de acuerdo con los requisitos de la metodología de cálculo para el índice ICOMO. Estos parámetros incluyen la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), el Oxígeno Disuelto (OD) y los indicadores microbiológicos como los Coliformes Totales. Además, se consideraron otros parámetros que pueden reflejar las concentraciones de materia orgánica en el recurso hídrico, como el potencial de hidrógeno (pH), la conductividad eléctrica (CE) y la temperatura (T). Se requirió de un laboratorio acreditado que realizó el análisis de las muestras.

Resultados y discusión

Determinación de la Red Hídrica del Río Sococha

Figura 1 Red Hídrica del Río Sococha



La Figura 1 presenta la Red Hídrica de la zona de estudio, abarcando un área de 2875,997 km² desde las elevaciones más altas hasta la confluencia con

el Río Sococha, en el cual, se puede visualizar los ríos tributarios de ambos países

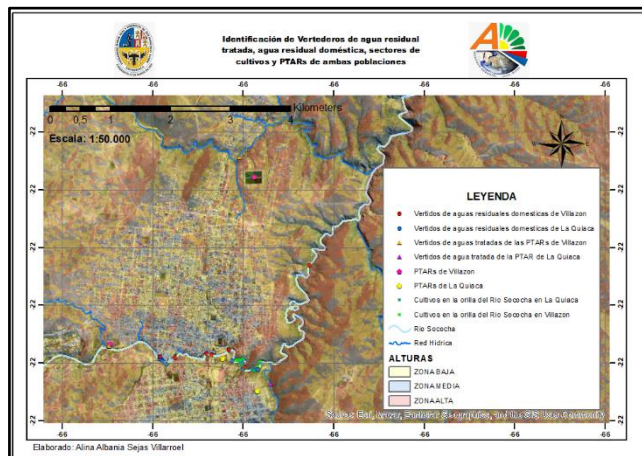
Identificación de puntos de vertido de las aguas residuales domésticas

Con el recorrido del campo de estudio se pudo identificar los puntos de vertido de las aguas residuales domesticas que generan la población de Villazón y La Quiaca. También se identificó los cultivos que están a orillas de río como choclos, cebollas, entre otras verduras y los puntos donde desembocan las aguas tratadas de las PTARs de ambas poblaciones.

Tabla 2 Número de vertederos de agua tratada, residual, de sectores de cultivos y PTARs de ambas poblaciones

Nombre	Numero
Puntos de vertidos de Villazón	7
Puntos de vertido de La Quiaca	8
Sectores de cultivos en Villazón	3
Sectores de cultivos en La Quiaca	2
PTARs de Villazón	2
PTARs de La Quiaca	2
Vertimiento de agua tratada de las PTARs de Villazón	2
Vertimiento de agua tratada de las PTARs de La Quiaca	1

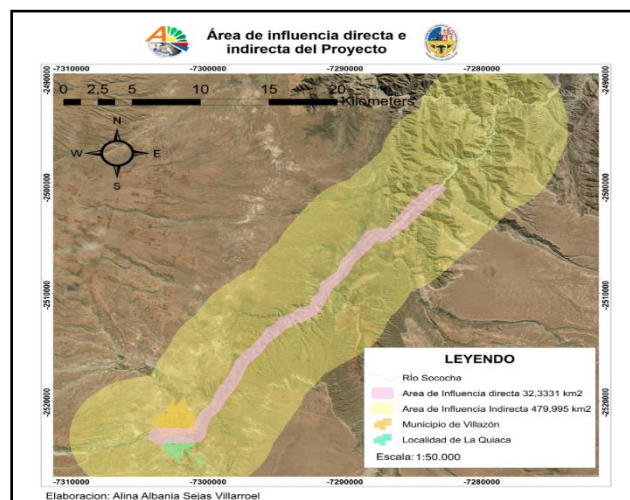
Figura 2 Vista satelital de los vertederos de agua tratada, residual, de sectores de cultivos y PTARs de ambas poblaciones



Determinación de área de influencia

Para determinar el área de influencia del proyecto se tomó en cuenta, las encuestas realizadas a la población del municipio de Villazón, y las entrevistas a los comunarios de las comunidades que dependen del agua de río, para el riego de sus cultivos, como también la visita de campo. El área de influencia directa abarca 32,3331 Km², dado que los efectos del mal olor alcanzan esta distancia y el área de influencia indirecta abarca una distancia de 479,995 Km², porque estos vertimientos están afectado a toda la población y las comunidades circundantes al río, como también al Río San Juan del Oro, donde desemboca.

Figura 3 Mapa del área de Influencia Directa e Indirecta



Determinación de los puntos de muestreo

Se establecieron los puntos de muestreo mediante la obtención de información cartográfica, comentarios de la comunidad y una inspección de campo en marzo de 2023. La selección de los puntos de muestreo se basó en cuatro criterios: (i) accesibilidad, (ii) un punto que caracterice las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del afluente con mínima interferencia humana, (iii) zonas con vertimientos considerables (con un punto central en relación a la cantidad de vertimientos) y (iv) zonas donde el efluente es utilizado por comunarios. Se identificaron cuatro estaciones de muestreo en función de estos criterios.

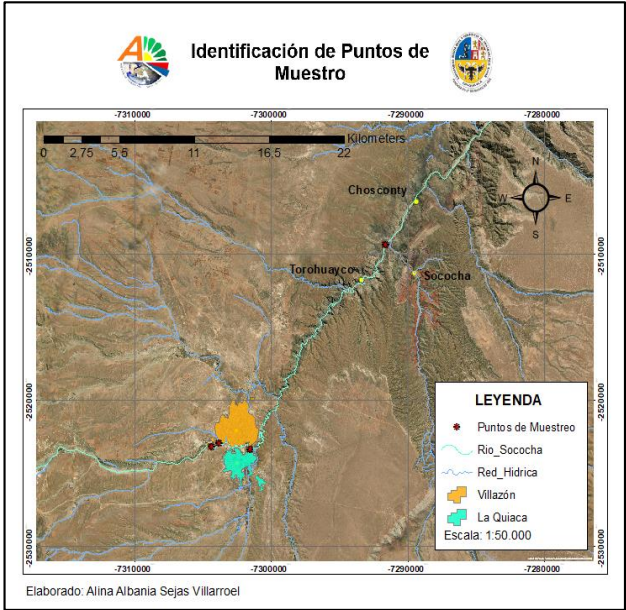
Tabla 3 Coordenadas de Puntos de muestreo

Puntos de Muestreo			Coordenadas
Punto 1	Sector con mínima interferencia antrópica	Punto de aguas arriba de los vertimientos de aguas residuales domesticas	X: -65.61 Y: -22.09
Punto 2	Salida de la PTAR Ojo de Agua	Punto de vertimiento de agua tratada al Río Sococha	X: -65.61 Y: -22.09
Punto 3	Sector con vertederos considerables	Punto después de 14 vertimientos	X: -65.59 Y: -22.09
Punto 4	Sector donde el río es utilizado por los comunarios	Punto en la comunidad de Sococha antes que el agua llegue a la comunidad de Chosconty	X: -65.49 Y: -21.97

Es relevante señalar que no se incluyeron como estaciones de muestreo ni el afluente proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de las Lagunas de Oxidación ni el punto de confluencia entre el río tributario Matancillas y el Río Sococha. Esta decisión se fundamentó en las observaciones realizadas durante la visita de campo, donde se constató que ambos puntos presentaban un caudal reducido y carecían de indicios evidentes de contaminación significativa.

Adicionalmente, el recorrido efectuado a lo largo del río tributario reveló la ausencia de olores desagradables, y el agua mostró un aspecto claro, sin presencia de espuma ni otros signos visibles de deterioro ambiental.

Figura 4 Mapa de puntos de muestreo de agua del Río Sococha



Resultados de los análisis de agua

Los resultados del análisis del agua del río y de la salida de la PTAR, que desemboca directamente al recurso hídrico, se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4 Resultados de los análisis de Agua

Fecha	Hora	Punto	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Conductividad (µS/cm)	DBO5 (mg/l)	Oxígeno Disuelto	pH	Temperatura del agua (°C)	Caudal (l/s)
16/04/	12:4 3pm	1	460	452	6	4,15	7,87	20,89	132
16/04/	13:2 6pm	2	≥2400	2264	259	0,93	7,5	20,81	310
17/04/	14:2 5pm	3	≥2400	1152,0	201	1,87	6,0	20,96	412
16/04/	17:3 7pm	4	1100	806,0	20	3,12	8,2	20,82	63

Cálculo del índice de contaminación por materia orgánica ICOMO

Los resultados fueron calculados según la formulación realizada por Ramírez y Restrepo (1997), para ilustrar el procedimiento se tomaron los valores de la Tabla 4, a continuación, se presentan los resultados de los Índices de DBO₅, índice de coliformes totales, índice del oxígeno disuelto y el ICOMO de los 4 puntos de muestreo.

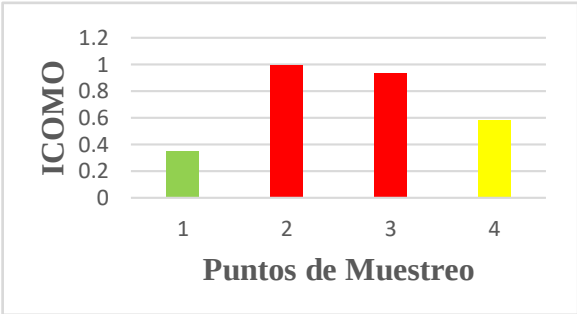
Tabla 5 Resultados del cálculo del ICOMO

Punto	Fecha	% Oxígeno Disuelto	Índice Coliformes	Índice DBO ₅	Índice Oxígeno Disuelto	ICOMO	Indicador
1	16/04/2023	48,77	0,05	0,49	0,51	0,35	Buena
2	16/04/2023	10,93	0,45	1,64	0,89	0,99	Pésima
3	17/04/2023	21,97	0,45	1,56	0,78	0,93	Pésima
4	16/04/2023	36,66	0,26	0,86	0,63	0,58	Media

El cálculo del índice de contaminación por materia orgánica ICOMO, en el sector del estudio, obteniendo el valor más bajo en el punto 1 de 0,35, ubicación que es tomada como blanco del análisis de los datos, dado que no existen vertimientos domésticos, respaldado por el plano del sistema de alcantarillado y las visitas a la zona de estudio. El punto 2 el ICOMO tiene el valor de 0,99, siendo el valor más alto obtenido del efluente de la PTAR de Ojo de Agua, el cual, está conformado por un Tanque Imhoff y un Filtro Biológico. En el punto 3 el valor fue de 0,93, el cual, disminuye sin embargo sigue siendo alto, estación ubicada de 592,8 metros del puente internacional. En el punto 4 se calculó un valor de 0,58, estación ubicada a una distancia de 1,52 km de la población de Chosconty donde utilizan el agua del Río Sococha para el riego de cultivos.

El indicador se encuentra entre pésima y media, entre los puntos de muestreo del recurso hídrico, que están siendo afectados por vertimientos de aguas residuales domésticas, evidenciado la contaminación por materia orgánica y degradación de la calidad del agua, que existe en el río Sococha.

Gráfico 1 ICOMO en diferentes puntos



Conclusiones

El diagnóstico reveló la existencia de 16 puntos de vertimiento de aguas residuales domésticas: 8 provenientes del municipio de Villazón y 8 de la localidad de La Quiaca. De estos, uno corresponde a la salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Ojo de Agua, mientras que los 15 restantes son derivados de las redes de alcantarillado y desagües directos al río. A partir de esta identificación y cuantificación de los puntos de vertido, se establecieron cuatro puntos de muestreo: Punto 1 (sector con mínima interferencia antrópica), Punto 2 (salida de la PTAR de Ojo de Agua), Punto 3 (sector con vertimientos considerables) y Punto 4 (sector utilizado por los comunarios). Además, se aplicó una encuesta a la población de Villazón, lo que permitió conocer las percepciones y los impactos de esta problemática sobre la comunidad. Esta encuesta fue esencial para delimitar tanto el área de influencia directa como indirecta de los vertimientos.

Mediante la aplicación del método ICOMO, se cuantificó el grado de contaminación por materia orgánica en el río Sococha, obteniendo una calificación de 0,35 en el área de estudio, lo que sitúa al río dentro de la categoría de calidad "Buena", según el parámetro de contaminación (rango >0,2-0,4).

En el Punto 2, se registró un valor de 0,99 y en el Punto 3, un valor de 0,93, ambos en la categoría de calidad "Pésima" (rango >0,8-1,0), indicando una alta contaminación por materia orgánica. Por otro lado, en el Punto 4, el valor de 0,58 clasifica la calidad del agua como "Media" (rango >0,4-0,6), lo que refleja la presencia significativa de contaminación y la consiguiente degradación de la calidad del agua en esta área.

El proceso de validación del método ICOMO se llevó a cabo mediante una comparación exhaustiva con parámetros adicionales como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), el Oxígeno Disuelto (OD), los Coliformes Totales, el pH, la Conductividad Eléctrica (CE) y la Temperatura (T), con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH). Los resultados obtenidos en el Punto 1 indican que el recurso hídrico se clasifica en la Clase C, de acuerdo con las categorías establecidas. En el Punto 2, se superan los límites permisibles para descargas líquidas A-2, mientras que en el Punto 3 los niveles exceden los límites de la Clase B. Finalmente, en el Punto 4, que es utilizado para riego agrícola, la mayoría de los parámetros analizados están fuera de los límites admisibles de las clases A y B, lo que indica que el agua no es apta para riego.

En conclusión, los resultados obtenidos evidencian la grave contaminación del Río Sococha debido a los vertimientos de aguas residuales domésticas, afectando directamente la calidad del agua y su utilidad tanto para consumo como para riego agrícola en la región.

Referencias

- Aguilar, S., & Solano, G. A. (2018). Evaluación del impacto por vertimientos de aguas residuales domésticas, mediante la aplicación del índice de contaminación (Icomó) En Caño Grande, Localizado En Villavicencio-Meta. [Trabajo de Grado, Universidad Santo Tomás. Villavicencio Colombia].
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/14218/2018aguilarsantiago.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arancibia, L. R., Ramirez, M. I. G., Quispe, L. R., Quintanilla, M. I. E., Subieta, L. S., & Molina, E. J. (2007). PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL (PDM 2007 - 2011) MUNICIPIO DE VILLAZÓN. In [Archivo PDF].
http://vpc.planificacion.gob.bo/uploads/PDM_S/05_POTOSI/051501_Villazon.pdf
- Coello, J., & Ormaza, R. (2013). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocha-Parque nacional Sangay Ecuador. [Revista Universidad Nacional Mayor de San Marcos], 16(31).
- FAO. (2016). informe de la contaminación del agua en Latino America. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura.
<https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/a0844t/docrep/008/T0311S/T0311S01.htm>
- Fuentes Rivas, R. M., Ramos Leal, J. A., Jimenez Moleon, M. del C., & Esparza Soto, M. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 31(0188-4999).
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992015000300005

- Gonzalez, J. H. (2017). Evaluación de los indicadores de calidad ICA e ICO del Rio Botello ubicado en el municipio de Facatativá. [Proyecto de Investigacion, Universidad Nacional Abierta y a Distancia–UNAD Colombia]. <https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/13563/3/1023892238.pdf>
- Luis, J. (2014). El Método de la Investigación Research Method. Daena: International Journal of Good Conscience, 9(3), 195–204. [http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9\(3\)195-204.pdf](http://www.spentamexico.org/v9-n3/A17.9(3)195-204.pdf)
- Quino, I., & Quintanilla, J. (2013). Índice De Calidad Del Agua En La Cuenca Del Lago PoopóUru Uru Aplicando Herramientas Sig. Revista Bolivian Journal of Chemistry, 30(1), 91– 101.
- Ramirez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. formulaciones y aplicación. Revista CT y F - Ciencia, Tecnología y Futuro, 1(3), 135–153. <http://www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v1n3/v1n3a09.pdf>
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. Revista Ingenierías Universidad de Medellin. <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>

Determinación de PM10 en Sucre con imágenes satelitales Landsat 8 y datos de monitoreo in situ**Determination of PM10 in Sucre with Landsat 8 satellite images and in situ monitoring data**GOMEZ - Luis^{1*}

¹*Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Carrera de Ingeniería Ambiental.*

Recibido diciembre, 2023; Aceptado noviembre, 08, 2024

Resumen

El propósito de esta investigación es encontrar una ecuación empírica para determinar los niveles de concentración de PM10 a partir de imágenes satelitales Landsat 8 Oli con un 10% de cobertura de nubes y datos de monitoreo in situ en la ciudad de Sucre.

Para la obtención de la ecuación empírica solo se trabajó con una estación de monitoreo ubicado en el Parque Bolívar debido a la falta de correlación con las otras estaciones de monitoreo y las reflectancias de las imágenes satelitales Landsat 8.

Los resultados demostraron una relación significativa entre las mediciones in situ de PM10 y las reflectancias de las imágenes satelitales Landsat-8. Para el período de estudio del 2015 al 2022 y se identificó que las bandas 2 y 5 de las imágenes satelitales son cruciales para predecir las concentraciones de PM10, con un alto valor de correlación ($R^2 = 0.86$) y un bajo error cuadrático medio (RMSE = 3.94%).

Se hizo una comparación con mapas de concentración de PM10 para temporadas húmedas y secas para cada año desde 2015-2022 que revelaron un nivel medio de riesgo a la exposición de PM10 en gran parte del distrito 2, resaltando áreas vulnerables que requieren atención urgente.

Palabras clave: Contaminación por PM10, teledetección, Mapa de PM10, nivel de riesgo, Distrito 2 – Sucre Bolivia

Abstract

The objective of this research is to develop an empirical equation to estimate PM10 concentration levels using Landsat 8 OLI satellite imagery with up to 10% cloud cover, combined with in situ monitoring data in the city of Sucre.

Due to a lack of correlation between satellite reflectance and data from other monitoring stations, the analysis focused exclusively on a single monitoring station located in Parque Bolívar.

The results demonstrated a significant relationship between in situ PM10 measurements and the reflectance values from Landsat 8 imagery over the study period from 2015 to 2022. Specifically, bands 2 and 5 of the satellite images were identified as key predictors of PM10 concentrations, yielding a high coefficient of determination ($R^2 = 0.86$) and a low root mean square error (RMSE = 3.94%).

Comparative analyses of PM10 concentration maps for wet and dry seasons from 2015 to 2022 revealed a moderate risk level of PM10 exposure across much of District 2, highlighting vulnerable areas that require urgent mitigation efforts.

Keywords: PM10 pollution, remote sensing, PM10 map, risk level, District 2 - Sucre Bolivia

Citación: Gómez L. Determinación de PM10 en Sucre con imágenes satelitales Landsat 8 y datos de monitoreo in situ, Revista Ingeniería Sostenible Ambiental 2024,1(1),1-50

Introducción

La contaminación atmosférica representa una amenaza significativa para la salud. El 91% de la población mundial reside en áreas donde los niveles de contaminación del aire superan los estándares recomendados por la OMS. Tanto los países desarrollados como los que están en desarrollo se ven afectados, siendo estos últimos los más perjudicados debido a múltiples fuentes de emisiones relacionadas con el uso de energía a partir de hidrocarburos (Organización Mundial de la Salud, 2021).

La contaminación medioambiental se ha convertido en un problema de salud pública para Bolivia. La polución atmosférica en el país se debe, principalmente, a emisiones producidas por el parque automotor y las industrias: Santa Cruz, Cochabamba y La Paz son algunas de las ciudades con mayor polución, mientras que en las zonas rurales en cambio la calidad de vida de la población se ve afectada por el uso de leña y carbón (El Diario, 2019).

Según el informe anual nacional (Red MoniCA, 2019) el contaminante que sobrepasa los límites máximos permisibles en muchas estaciones de monitoreo a nivel nacional son los PM10 y en diferentes periodos de exposición (evaluaciones de 24 horas y anuales), provocando un mayor riesgo de salud en la población.

Se han establecido tres estaciones de monitoreo de PM10 zonas de alto tráfico vehicular en la ciudad de Sucre, los valores promedio de concentración de partículas PM10 muestran su punto máximo durante los meses de mayo, junio, julio y agosto. Posteriormente, disminuyen de manera constante en los meses subsiguientes, y esto se atribuye a las condiciones climáticas (Red MoniCA, 2019).

En el trabajo de investigación en la ciudad de Teherán titulada Air Pollution Estimation Using Aerosol Optical Thickness by Oli Images in Tehran (Hasanlou, et al., 2019). Se sugiere que el estudio de la reflectancia atmosférica del Landsat-8, OLI es una buena alternativa para monitorear la calidad del aire en la Tierra

La viabilidad de los algoritmos propuestos se investigó con base en el coeficiente de correlación (R) y el error cuadrático medio (RMSE) y normalizar el error cuadrático medio (NRMSE) en comparación con los datos de medición in situ PM2.5 y PM10. La elección de nuestro modelo multiespectral propuesto se basó en el valor R más alto y el valor más bajo del RMSE y, por lo tanto, en el valor más bajo del NRMSE con datos in situ PM10. Los resultados de esta investigación mostraron que las bandas visibles de Landsat 8 OLI eran capaces de calcular la concentración de PM2.5 y PM10 con un nivel aceptable de precisión.

El constante crecimiento poblacional, económico y la falta de un plan de ordenamiento territorial en la ciudad son las causas de diferentes fuentes de contaminación atmosférica. Según (Abad & Mejía, 2017) los valores de concentración de material particulado PM10 pueden ser obtenidos realizando el procesamiento de imágenes satelitales y efectuando una correlación con los datos de las estaciones de la calidad del aire.

La Red MoniCA cuenta con 3 sitios de monitoreo de material particulado PM10 que están instalados en áreas de alto tráfico vehicular (Parque Bolívar, Terminal de Buses, Facultad de Medicina), debido al incremento del parque automotor se tiene en la ciudad un aumento de fuentes de contaminación móvil además de otros focos de contaminación debido a las actividades económicas de la ciudad (Red MoniCA, 2019).

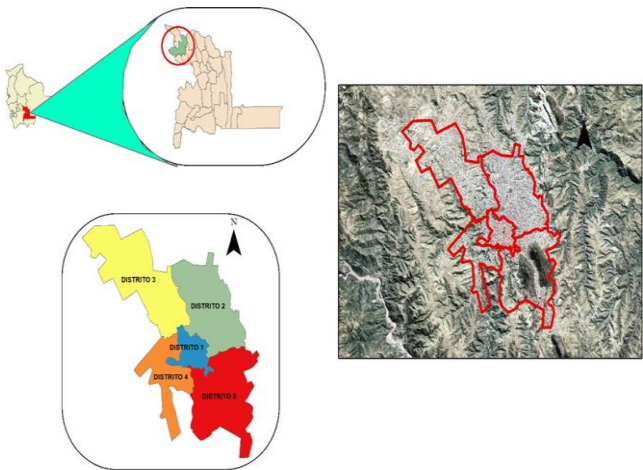
El presente trabajo de investigación tiene por objetivo estimar la concentración de material particulado PM10 a partir del procesamiento de datos de imágenes satelitales Landsat 8 en consecuencia obtenemos los valores de reflectancias en superficie y así realizar una correlación con los datos adquiridos por la red MoniCA y obtener un modelo inductivo o empírico para espacialización de la concentración de PM10.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Sucre (S19°3'2" y O65°47'25") se encuentra localizado en la provincia Oropeza del departamento de Chuquisaca a una altura de 2750 m.s.n.m. . El área total es de 1.721,69 km2 que son distribuidas en 8 distritos de las cuales 5 son distritos urbanos, 3 son distritos rurales. Este municipio es el más poblado del departamento de Chuquisaca, representando un 45% de la población total. Limita al norte con Poroma, al sur con Yotala, al este con Tarabuco y al sudeste con Yamparaez. El clima predominante es templado subhúmedo, con una temperatura mínima media anual de 15°C y una máxima media de 22°C. En la ilustración adjunta se puede observar la ubicación del municipio de Sucre en la provincia Oropeza del departamento de Chuquisaca.

Figura 1. Ubicación geográfica de los 5 distritos urbanos de la Sucre con datos vectoriales de la secretaria de ordenamiento territorial del G. A. M. S. e imagen satelital de Google Earth Pro.



Mediciones de PM10 in situ

La Red MoniCA Sucre tiene actualmente en funcionamiento 2 metodologías de monitoreo para obtener niveles de concentración de PM10, la primera es la metodología de monitoreo por muestreo activo, de la cual se tienen 2 equipos en funcionamiento y la otra metodología de monitoreo es por muestreo automático. Se obtuvo el historial de datos in situ desde la gestión 2015-2022 de la Secretaria de Medio Ambiente del Gobierno Autonomo Municipal de Sucre.

Imágenes OLI de Landsat 8

Este estudio comenzó con la búsqueda de imágenes satelitales Landsat 8 OLI/TIRS correspondientes al período de 2015 a 2022 con 10% de nubosidad, en total se descargaron 64 imágenes y se utilizaron las bandas 1 al 5.

Tabla 1. Características espectrales y espaciales de las bandas Landsat 8.

Bandas	Longitud de onda		Resolución
Banda 1	Coastal Aerosol	(0.43 -0.45 μm)	30 m
Banda 2	Blue	(0.450 -0.51 μm)	30 m
Banda 3	Green	(0.53 -0.59 μm)	30 m
Banda 4	Red	(0.64 -0.67 μm)	30 m
Banda 5	Near-Infrared	(0.85 -0.88 μm)	30 m
Banda 6	SWIR 1	(1.57 -1.65 μm)	30 m
Banda 7	SWIR 2	(2.11 -2.29 μm)	30 m
Banda 8	Panchromatic (PAN)	(0.50 -0.68 μm)	15 m
Banda 9	Cirrus	(1.36 -1.38 μm)	30 m
Banda 10	TIRS 1	(10.6 -11.19 μm)	100 m
Banda 11	TIRS 2	(11.5 -12.51 μm)	100 m

Metodología para la estimación del PM10 con teledetección

1. Selección de las imágenes satelitales: Se debe seleccionar una imagen satelital adecuada que tenga una resolución espacial y temporal apropiada. para el estudio se utilizó las imágenes Landsat 8 descargadas de la página web del USGS.

2. Preprocesamiento de las imágenes: consiste en convertir los ND a valores de radiancia y posteriormente a valores de reflectancia de superficie mediante el software Envi 5.3

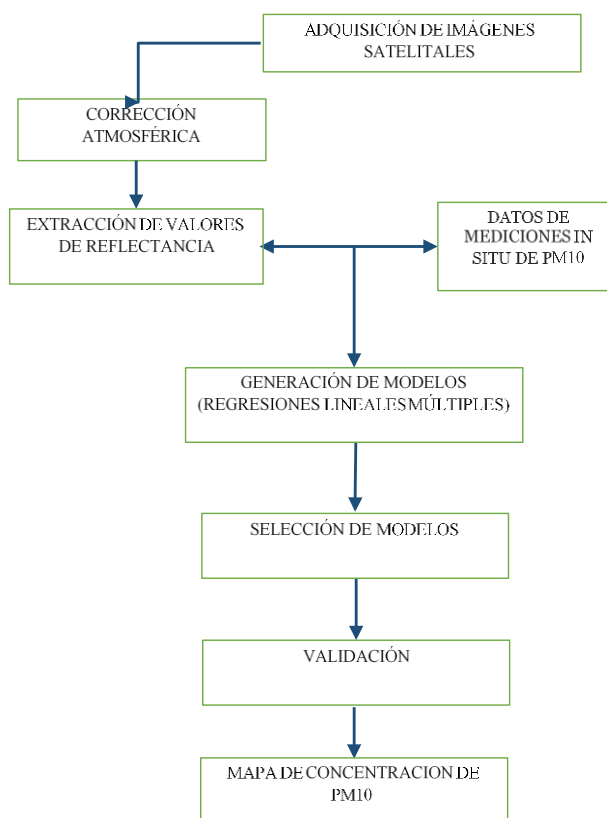
3. Construcción de matrices: se debe formar matrices con los datos de las mediciones in situ y el valor de las reflectancias de superficie y con el programa estadístico Rstudio realizar las regresiones lineales múltiples para obtener las ecuaciones empíricas para mapear el PM10

4. Validación de los resultados: Es importante validar los resultados obtenidos con indicadores estadísticos en este caso coeficiente de correlación, error cuadrático medio y el AIC (Criterio de Información de Akaike), que nos filtraría los mejores modelos de regresión lineal y también es necesario comparar los valores in situ con los valores generados por el modelo. Esto permitirá determinar la precisión y fiabilidad de la estimación.

5. Generación de mapas y análisis: Finalmente, se pueden generar mapas de la concentración de PM10 a partir de los resultados obtenidos y realizar análisis para identificar patrones espaciales y temporales en la distribución de estas partículas.

:

Figura 2 Esquema Metodológico para la estimación del PM10



Resultados

En el desarrollo de este proyecto, se emplearon modelos generados a partir de la extracción de valores de reflectancia de diferentes bandas espectrales. Estos valores fueron tabulados en una matriz de datos utilizando el programa Excel, para posteriormente ser exportados al entorno estadístico RStudio. En RStudio, se llevaron a cabo análisis mediante modelos de regresión lineal múltiple, con el fin de identificar relaciones significativas entre las variables. Los modelos seleccionados, basados en la mayor significancia estadística, fueron luego procesados en el software ENVI 5.3 para generar un mapa temático que representara tanto los niveles de concentración como los niveles de riesgo asociados a la exposición a partículas PM10.

Tabla 2. Modelos de regresión lineal múltiple generados en el software Rstudio con sus indicadores

Mod	R2	RMSE	AIC	AÑO
2	0,8835	4,907	58,52248	2015
3	0,895	4,66	57,59266	2015
4	0,9016	5,524	61,00539	2015
5	0,903	5,485	60,87777	2015
6	0,8861	5,942	62,31801	2015
16	0,849	4,218	55,18951	2017
18	0,8522	4,174	54,99708	2017
19	0,9609	2,541	47,0394	2017
20	0,9674	2,595	47,40449	2017
29	0,849	4,127	55,40738	2021
30	0,8592	3,985	54,77876	2021
31	0,8599	4,355	56,73416	2021
32	0,8592	4,88	58,77491	2021
33	0,849	5,053	59,40397	2021

Se generaron un total de 14 modelos a partir de tres matrices de datos correspondientes a los años 2015, 2017 y 2021. Los modelos fueron evaluados utilizando el criterio del AIC (Criterio de Información de Akaike), destacándose en amarillo aquellos modelos con los valores más bajos de AIC, ya que este indicador es fundamental para seleccionar el mejor modelo dentro de una matriz de datos. Como resultado, se identificaron tres modelos destacados, los cuales fueron posteriormente utilizados para la espacialización en el software ENVI 5.3.

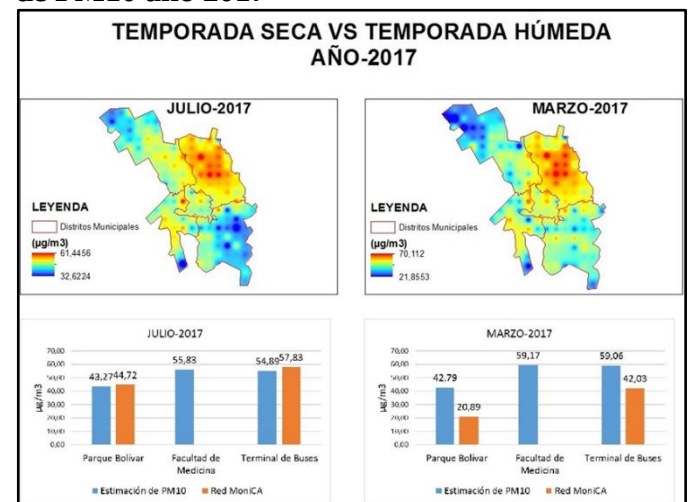
Durante la fase de espacialización, se observó que el modelo 30 fue el más adecuado para mapear las concentraciones de PM10. Este modelo fue seleccionado con base en el siguiente criterio: los valores generados en los puntos de monitoreo ubicados en la terminal de buses mostraron una cercanía notable con los valores medidos, a excepción de los datos en la Facultad de Medicina, donde no se dispone de información. En contraste, los modelos 5 y 19 presentaron valores inferiores a los registrados en el punto de monitoreo del Parque Bolívar. por los criterios descritos el modelo que mejores resultados proporciona para mapear el PM10 es:

$$PM10 = -0,1032278*B2 + 0,0368234*B5 + -0,2793$$

Tabla 3 Comparación de valores estimados vs. valores de monitoreo de pm10 para la temporada seca y húmeda

Julio 2017				
Ubicación	PM10 ESTIMADO (MODELO) (µg/m3)	PM10 (Red MoniC A) (µg/m ³)	Error de validación	Error de validación promedio (%)
Parque Bolívar	43.27	44.72	1.45	2.19
Facultad de Medicina	55.83			
Terminal de Buses	54.89	57.83	2.94	
Marzo 2022				
Ubicación	PM10 ESTIMADO (MODELO) (µg/m3)	PM10 (Red MoniC A) (µg/m ³)	Error de validación	Error de validación promedio (%)
Parque Bolívar	41.35	26.04	15.31	13.75
Facultad de Medicina	58.13	35.15	22.97	
Terminal de Buses	50.06	47.08	2.98	

Figura 3 Distribución espacial de los niveles de PM10 año 2017



Discusión

En el presente estudio, se realizó un análisis de los niveles de PM₁₀ en la ciudad de Sucre durante el período comprendido entre 2015 y 2022, centrándonos en dos temporadas claramente diferenciadas: la temporada seca que son los meses de abril a octubre y la temporada húmeda de noviembre a marzo. Para la comparación de niveles de PM₁₀ se procedió con dos imágenes satelitales por año, lo que proporcionó una visión completa de las variaciones a lo largo del tiempo. Una de las principales conclusiones de este análisis es la comparación entre las mediciones de la estación de monitoreo in situ y el modelo estimado de PM₁₀. Se observó que, en julio del 2017 se obtiene un error de 2.19%, y un valor máximo de error 45,76% del mes de junio de 2016. El porcentaje alto de error se debe a que las estaciones de monitoreo de la Facultad de Medicina y la Terminal de Buses no proporcionan datos continuos diarios como la estación de monitoreo del Parque Bolívar, existe una correspondencia razonable entre los datos obtenidos a través del modelo y las mediciones reales. Es relevante destacar que se observó una tendencia a un menor error durante la temporada seca en comparación con la temporada húmeda, lo que podría estar relacionado con factores climáticos y estacionales.

Además, se identificó un patrón notable de contaminación en el distrito 2 de la ciudad. A lo largo de todos los años estudiados, este distrito mostró niveles de riesgo medio de PM₁₀. Esto podría atribuirse a diversas actividades y condiciones locales, como la densidad del tráfico vehicular o la geografía de la zona. Estos resultados destacan la necesidad de una atención específica en esta área para abordar los problemas de contaminación y mejorar la calidad del aire. Este estudio proporciona una visión detallada de la concentración de PM₁₀ en Sucre durante un período significativo. Los resultados sugieren una correlación razonable entre las mediciones in situ y los valores estimados.

Asimismo, se subraya la importancia de implementar medidas de control y prevención de la contaminación atmosférica, especialmente en el distrito 2, con el objetivo de salvaguardar la salud pública y mejorar la calidad del aire en la ciudad.

Conclusiones

Este estudio caracteriza sistemáticamente las distribuciones espacio temporales de concentraciones de PM₁₀ para los 5 distritos urbanos de la ciudad de Sucre para el periodo 2015-2022 con las imágenes satelitales Landsat 8 OLI y monitoreo in situ.

El resultado indica que nuestro modelo puede calcular la contaminación del aire por PM₁₀ con un alto grado de precisión utilizando el valor de reflectancia de superficie de las bandas 2 y 5 de la imagen Landsat 8 OLI.

La investigación destaca que nuestro modelo demuestra su eficacia en las temporadas secas, que comprenden los meses de abril a septiembre, al obtener un menor nivel de error en contraste con las temporadas húmedas. Estos resultados sugieren que es viable cartografiar la contaminación del aire mediante datos satelitales, lo que amplía la cobertura geográfica.

Referencias

- Abad, L., & Mejía, D. (2017). EJE 07-07 Estimación de la concentración de material particulado menor a 10 micras a través de sensores remotos en el área urbana de la ciudad de Cuenca. *Memorias Y Boletines De La Universidad Del Azuay*, 1(XVI), 381–390. <https://doi.org/10.33324/memorias.v1iXVI.85>
- El Diario, 2019. Contaminación del aire pone en riesgo salud de la población. <https://www.eldiario.net/movil/index.php?n=55&a=2019&m=06&d=05>

- Mozafari, SM, Hasanlou, M. y Arefi, H.: estimación de la contaminación del aire utilizando el espesor óptico de aerosol mediante imágenes Oli en Teherán, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-4/W18, 779–782, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-779-2019>, 2019.
- Organizacion Mundial de la Salud, 2021. Contaminación atmosférica. https://www.who.int/es/health-topics/air-pollution#tab=tab_2 [Último acceso: 29 noviembre 2021].
- Red MoniCA, 2019. INFORME ANUAL 2019 RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE, Sucre: s.n.
- Christopher, S. A., & Gupta, P. (2010). Satellite Remote Sensing of Particulate Matter Air Quality: The Cloud-Cover Problem. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 60(5), 596–602. <http://doi.org/10.3155/1047-3289.60.5.596>
- Congedo, L., & Munafò, M. (2012). Development of a Methodology for Land Cover Classification in Dar es Salaam using Landsat Imagery, (January 2012), 48. Retrieved from <http://www.planning4adaptation.eu/>
- Dávila, M. (2016). Visita Técnica a la Estación de Monitoreo Activa de Calidad de Aire de la EMOV-EP. Emili, E., Popp, C., Riffler, M., & Bern, U. (2016). PM10 remote sensing from geostationary SEVIRI and polar-orbiting MODIS sensors over the complex terrain of the European Alpine region. *Remote Sensing of Environment*, 114(Sep-tember), 2485–2499. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2010.05.024>
- Grantz, D. ., Garner, J. H. ., & Johnson, D. . (2003). Ecological effects of particulate matter. *Environment International*, 29(2-3), 213–239. [http://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00181-2](http://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00181-2)
- Grosso, N., Ferreira, F., & Mesquita, S. (2007). Improvement in particles (PM10) urban air quality mapping interpolation using remote sensing data. *Air Pollution Modeling and Its Application XVIII*, Volume 6(07), 265–274. [http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S1474-8177\(07\)06031-7](http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S1474-8177(07)06031-7)
- Guo, Y., Feng, N., Christopher, S. a., Kang, P., Zhan, F. B., & Hong, S. (2014). Satellite remote sensing of fine particulate matter (PM2.5) air quality over Beijing using MODIS. *International Journal of Remote Sensing*, 35(17), 6522–6544. <http://doi.org/10.1080/01431161.2014.958245>
- Gupta, P., Christopher, S. a., Wang, J., Gehrig, R., Lee, Y., & Kumar, N. (2006). Satellite remote sensing of particulate matter and air quality assessment over global cities. *Atmospheric Environment*, 40(30), 5880–5892. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.03.016>
- Hadjimitsis, D. G. (2009). Aerosol optical thickness (AOT) retrieval over land using satellite image-based algorithm. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 2, 89–97. <http://doi.org/10.1007/s11869-009-0036-0>
- Hameed, S., & Hasan, G. (2014). Estimation of PM10 Concentration using Ground Measurements and Landsat 8 OLI Satellite Image. *Journal of Geophysics & Remote Sensing*, 3(2), 1–6. <http://doi.org/10.4172/2169-0049.1000120>
- Hyndman, R. J. (2010). Why every statistician should know about cross-validation. Retrieved from <http://robjhyndman.com/hyndsight/crossvalidation/>
- Knight, E., & Kvaran, G. (2014). Landsat-8 Operational Land Imager Design, Characterization and Performance. *Remote Sensing*, 6(11), 10286–10305. <http://doi.org/10.3390/rs6110286>

Luo, N., Wong, M. S., Zhao, W., Yan, X., & Xiao, F. (2015). Improved aerosol retrieval algorithm using Landsat images and its application for PM10 monitoring over urban areas. *Atmospheric Research*, 153(0), 264–275.

<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/>

Martinez, A. P., & Romieu, I. (2003). Estrategia De Monitoreo. In Comunidad Europea (Ed.), *Introducción al monitoreo atmosférico*. (pp. 7–37). Bruselas: Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. Retrieved from <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/intromon/cap2.pdf>

Meena, G. S., Londhe, A. L., Bhosale, C. S., & Jadhav, D. B. (2009). Remote sensing “ground-based automatic UV / visible spectrometer ” for the study of atmospheric trace gases. *International Journal of Remote Sensing*, 30(21), 5633–5653. <http://doi.org/10.1080/01431160802698901>

Planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Padcaya – Tarija

Wastewater treatment plant for the municipality of Padcaya – Tarija

ACOSTA - Cesar*¹ GUTIÉRREZ - Cesar²

¹Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Carrera de Ingeniería Ambiental.

Recibido Noviembre, 24, 2023; Aceptado marzo, 30, 2024

Resumen

El diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas, para el Municipio de Padcaya - Tarija, es una propuesta con el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB) que incluye el estudio de caracterización previo del agua residual para determinar las operaciones unitarias óptimas para el tratamiento del efluente.

Para lograr el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, se realizó un diagnóstico de las aguas residuales del Municipio de Padcaya - Tarija, mediante un análisis de laboratorio, encuestas, visitas y entrevistas. De esta manera poder conocer la situación actual y el grado de la contaminación hídrica hacia el medio ambiente. En las distintas etapas podemos diferenciar el pre-tratamiento (Rejillas, Desarenador), tratamiento primario (Tanque Imhoff), tratamiento secundario (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente UASB, Laguna Facultativa), y un lecho de secado de lodos.

El dimensionamiento de las operaciones unitarias optimas permitirá verificar su efectividad a la hora de tratar el efluente y también demostrar cuanto está mitigando la planta de tratamiento de aguas residuales.

Los resultados obtenidos indican, que el tratamiento de la PTAR podría eliminar un 85 % de DBO, 85% de DQO, 60% de SST, 65% de aceites y grasas, 90% de Fósforo Total y 40% de Nitrógeno Amoniacal. Dando una remoción general del 72 % de la carga contaminante de los efluentes, que superan los límites permisibles de la Ley 1333 del Medio Ambiente. Con el diseño la planta de tratamientos de aguas residuales para el Municipio de Padcaya, se tratará su efluente principal quebrada “Los Tacos”, minimizando la contaminación hídrica generada por el Municipio.

Para la implementación del proyecto se necesitará una inversión de: 2.257.631 Bs, el mismo que será financiado por las instituciones públicas de Tarija y Organización No Gubernamental

Palabras Clave: Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB), Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Solidos Suspendidos, DBO, DQO, Aceites y Grasas.

Abstract

This study presents the design of an Urban Wastewater Treatment Plant (WWTP) for the Municipality of Padcaya, Tarija, featuring an Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor. The design is based on a preliminary wastewater characterization study to determine the optimal unit operations for effective effluent treatment.

To develop the WWTP design, a comprehensive diagnosis of Padcaya's municipal wastewater was conducted through laboratory analyses, surveys, site visits, and interviews. This approach provided insight into the current status and degree of water pollution impacting the environment. The treatment process is structured into distinct stages: pretreatment (screens, grit chamber), primary treatment (Imhoff tank), secondary treatment (UASB reactor, facultative lagoon), and sludge drying beds.

The dimensioning of the optimal unit operations aims to verify their effectiveness in treating the effluent and quantify the mitigation capacity of the WWTP. Results indicate that the proposed treatment system can remove approximately 85% of Biochemical Oxygen Demand (BOD), 85% of Chemical Oxygen Demand (COD), 60% of Total Suspended Solids (TSS), 65% of oils and greases, 90% of Total Phosphorus, and 40% of Ammoniacal Nitrogen. Overall, the plant achieves a 72% reduction in pollutant load, effectively reducing contaminants that currently exceed the permissible limits established by Environmental Law 1333.

The implementation of this WWTP will treat the primary effluent discharged into the “Los Tacos” stream, significantly minimizing water pollution generated by the municipality. The project requires an investment of 2,257,631 Bolivianos, to be financed by public institutions in Tarija and non-governmental organizations.

Keywords: Anaerobic Upflow Reactor (UASB), Wastewater Treatment Plant, Suspended Solids, BOD, COD, Oils and Fats.

Citación: Planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Padcaya – Tarija, Revista Ingeniería Sostenible Ambiental 2024,1(1),1-50

Introducción

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), es aquella que gracias a diferentes procesos físicos, químicos y biológicos elimina los contaminantes presentes en el agua luego del uso humano. En virtud de la diversidad de contaminantes que se pueden presentar en las aguas residuales, la forma de tratarlos es también muy amplia, por ende, las técnicas que se utilizan en estos procesos son diversas. (Cuenca & Granados, 2012).

En la actualidad las enfermedades cuyo origen provienen de las aguas residuales han tenido una gran acogida como uno de los principales problemas entre la población en especial en las zonas rurales, donde el poco conocimiento de los peligros que trae consigo el agua residual de origen doméstico sin tratamiento a un cuerpo de agua los hace fácilmente vulnerables a cualquier brote de enfermedades de origen diarreicas, o por cualquier bacteria, parásito, protozooario, etc., que se encuentran en las aguas residuales además del daño que le hacen al ecosistema del cuerpo de agua donde arrojan el agua residual, alterando la flora y fauna del cuerpo de agua. (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

La solución más extendida para el control de la contaminación por aguas residuales es tratarlas en plantas donde se hace la mayor parte del proceso de separación de los contaminantes dejando una pequeña parte que complementará la naturaleza en el cuerpo receptor. Es importante señalar que con base en la composición variable de los desechos que se generan, se establece el tratamiento específico que cada municipio debe implementar. El Municipio de Padcaya no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), y por consiguiente no se tiene conocimiento de los tipos de contaminantes que son vertidos a sus quebradas y aguas receptoras, por lo cual se está vulnerando los parámetros de vertidos que están establecidos en la LEY 1333 de Medio Ambiente.

Este trabajo pretende el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas, adecuada a las necesidades del Municipio de Padcaya, para tratar la contaminación hídrica y reducir el impacto ambiental, generado por la población y actividades industriales, y así cumplir con las normas y regulaciones ambientales establecidas en el País.

Materiales y métodos

La metodología que se aplicó para el desarrollo del trabajo está constituida por métodos empíricos, métodos teóricos y técnicas de investigación que serán detalladas a continuación.

Métodos Teóricos

- Análisis documental: Este método nos permitió conocer el diagnóstico en el que se encuentra el municipio de Padcaya, con respecto a la contaminación hídrica, conocer los cuerpos hídricos que se encuentran en el municipio.

Métodos Empíricos

- Método de la observación: Permite principalmente la elaboración del diagnóstico ambiental, además de la caracterización del efluente, mediante visitas al Municipio, para conocer la situación ambiental in – situ del mismo, y ubicación de puntos de muestreo.
- Método de Medición: Este método nos permitió obtener el dimensionamiento de las operaciones unitarias para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y para conocer su eficiencia.

Técnicas e Instrumentos

- Encuestas: Se empleó esta técnica para recabar información necesaria acerca del conocimiento de una muestra determinada de la población aledaña al efluente y aguas abajo.

Resultados y discusión

Selección de las mejores alternativas de las operaciones unitarias

a) Pretratamiento

La etapa de pretratamiento consta de una serie de operaciones físicas y mecánicas, que tienen por objetivo separar del agua residual la mayor cantidad posible de materias (sólidos gruesos, arenas, grasas) que, por su naturaleza o tamaño, pueden dar lugar a problemas en las etapas posteriores del tratamiento.

Cribado

Es el primer proceso encontrado generalmente en una planta de tratamiento de aguas residuales. Es un dispositivo con aberturas, generalmente de tamaño uniforme que se utiliza para retener grandes sólidos que se encuentran en el agua residual. La red de alcantarillado transporta diferentes materiales gruesos como plásticos, madera, trapos, cartón, etc., los cuales representan una amenaza para el óptimo funcionamiento de los trenes de tratamiento posterior y son totalmente indeseables en la implementación de procesos biológicos por tal razón es indispensable retirar este tipo de material.

Rejas

La reja de desbaste es un elemento formado por un recipiente y una reja en su interior, que se instala antes de cualquier tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales, evita que los sólidos más grandes que entran con el agua residual lleguen al sistema de tratamiento. Elementos que pueden obstruir los equipos de la PTAR. Según su funcionamiento se clasifican en rejas de limpieza Manual y automática.

Rejas de desbaste manual

Las más utilizadas, tienen un sistema de limpieza mecánico el usuario deberá limpiar periódicamente, la reja manualmente con un rastrillo y eliminar los sólidos atrapados. Es la que utilizaremos en nuestro proyecto.)

Cuadro 1. Comparativo ventajas y desventajas rejas de desbaste manual

Ventajas	Desventajas
Retienen residuos de gran tamaño	Ocasionan molestia con el espacio ocupado con el material retenido.
No requiere energía para su funcionamiento	Atracción de animales en busca de desechos
No requiere personal calificado	Observar que no se acumulen muchos sólidos en la reja
Capacidad de filtración máxima	Arreglar y reponer los barrotes que se hayan dañado
No requiere mucha inversión económica	
Requieren trabajo manual para su limpieza	

Tamices

El tamizado tiene la misma función del desbaste, pero a un nivel más fino. De hecho, la malla del tamiz tiene aberturas que fluctúan entre 5 y 0,5 mm. Pueden ser estáticos o rotativos. Los tamices estáticos son auto limpiantes (con la malla inclinada), debido a la pendiente de flujo del agua, mientras que los rotativos se limpian al pasar el tamiz por una cuchilla que retiene el material removido.

Cuadro 2. Cuadro comparativo ventajas y desventajas tamices

Ventajas	Desventajas
Cualquier tipo de instalación	Costo elevado para su instalación
Cualquier caudal	Necesitan energía para su funcionamiento
Cualquier luz de paso	Costo extra en mantenimiento

➤ Análisis y elección de las Rejas de desbaste manual

Las rejas es el sistema más utilizado en el pretratamiento de aguas residuales el costo de su instalación y mantenimiento es mínimo. En comparación de los tamices que requieren energía para su operación, costos elevados para su instalación. Por estos motivos nos inclinamos por las rejas

b) Tratamiento primario

Se considera como unidad de tratamiento primario a todo sistema que permite remover material en suspensión, excepto material coloidal o sustancias disueltas presentes en el agua. Así, la remoción del tratamiento primario permite quitar entre el 60 a 70% de sólidos suspendidos totales y hasta un 30% de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) orgánica sedimentable presente en el agua residual. Es común en zonas rurales el empleo del tanque séptico como unidad de tratamiento primario con disposición final por infiltración. El tanque Imhoff ha sido empleado en localidades de mediano tamaño como un buen sistema de tratamiento primario.

Sedimentadores estáticos (desarenador)

En este tipo de unidades puede producirse sedimentación normalmente con caída libre, en régimen laminar turbulento o de transición. En estas unidades la masa líquida se traslada de un punto a otro con movimiento uniforme y velocidad constante. Cualquier partícula que se encuentre en suspensión en el líquido en movimiento se moverá según la resultante de dos velocidades componentes: la velocidad horizontal del líquido (vh) y su propia velocidad de sedimentación (vs). Tienen por objeto remover del agua cruda la arena y las partículas minerales más o menos finas, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión y evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguiente y la interferencia en los procesos de coagulación y floculación.

Cuadro3. Cuadro comparativo ventajas y desventajas de un Desarenador

Ventajas	Desventajas
Mayor simplicidad de operación de la planta.	Es necesario remover los lodos cada 7 días.
Tecnología sencilla	Se recomienda la instalación de 2 unidades que trabaje de manera paralela.
Remoción eficiente de sólidos suspendidos	Requieren inspecciones y mantenimiento frecuentes.
Costos de operación y capital relativamente bajo	Pueden obstruirse con el tiempo debido al exceso de sedimentos, lo cual puede llegar a reducir su eficacia.
Eliminan eficazmente la arena, la suciedad y otros sólidos en suspensión del agua.	
También reducen la tensión en equipos y tuberías	
Mejoran la eficacia química	
Reducen los costes de mantenimiento y mejoran la calidad del agua.	
Además, los desarenadores ofrecen una opción mucho más eficaz y rentable que los filtros de arena tradicionales, ahorrando tiempo y dinero a la vez que proporcionan mejores resultados.	

Desarenador aireado

Las arenas se remueven en un desarenador aireado por causa del movimiento en espiral que realiza el agua residual. Debido a su masa las partículas de arena se aceleran y abandonan las líneas de flujo hasta que en ultimas alcanzan el fondo del tanque ya que el flujo en espiral es un campo con aceleración variable inducido por el aire inyectado.

Cuadro 4. Cuadro comparativo ventajas y desventajas de un Desarenador Aireado

Ventajas	Desventajas
Eficiencia de remoción en un amplio rango de caudales	Puede liberar orgánicos volátiles peligrosos y olores
Relativamente bajo contenido orgánico	Altos requerimientos energéticos y
Mínimo desgaste de los equipos	mantenimiento
No se requiere una unidad independiente para lavado de arenas	Liberación potencial COV en estos desarenadores

➤ **Análisis y elección del Desarenador**

La velocidad de giro o agitación determina las partículas removidas de acuerdo con su gravedad específica. Si la velocidad es excesiva las partículas de arena serán arrastradas fuera del desarenador por otra parte a velocidades bajas se promueve la remoción de material orgánico particulado

Tanque Imhoff

El tanque Imhoff es una tecnología de tratamiento primario para aguas residuales crudas, diseñada para separar el sólido del líquido, y para la digestión del lodo asentado. Consiste en un compartimiento de sedimentación en forma de V sobre una cámara de digestión de lodo. Tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas; sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y remoción de arena. El lodo estabilizado en el fondo del compartimiento de digestión debe eliminarse según el diseño. Siempre debe haber un espacio mínimo de 50 cm entre la manta de lodo y la ranura de la cámara de sedimentación. (McLean, R.C, 2009).

Cuadro 5. Cuadro comparativo ventajas y desventajas Tanque Imhoff

Ventajas	Desventajas
Contribuye a la digestión de lodo, mejor que en un tanque séptico, produciendo un líquido residual de mejores características.	Son estructuras profundas (>6m). Es difícil su construcción en arena fluida o en roca y deben tomarse precauciones cuando el nivel freático sea alto, para evitar que el tanque pueda flotar o ser desplazado cuando esté vacío.
No descargan lodo en el líquido efluente, salvo en casos excepcionales.	El efluente que sale del tanque es de mala calidad orgánica y microbiológica.
El lodo se seca y se evacúa con más facilidad que el procedente de los tanques sépticos, esto se debe a que contiene de 90 a 95% de humedad.	En ocasiones puede causar malos olores, aun cuando su funcionamiento sea correcto.
Las aguas servidas que se introducen en los tanques Imhoff, no necesitan tratamiento preliminar, salvo el paso por una criba gruesa y la separación de las arenillas.	Bajos rendimientos en reducción de carga orgánica y abatimiento de patógenos, por lo que se precisan tratamientos posteriores.
El tiempo de retención de estas unidades es menor en comparación con las lagunas.	Escasa estabilidad frente a puntas de caudales.
Tiene un bajo costo de construcción y operación.	Generación de malos olores si no se mantienen adecuadamente.
Para su construcción se necesita poco terreno en comparación con las lagunas de estabilización.	
- Son adecuados para ciudades pequeñas y para comunidades donde no se necesite una atención constante y cuidadosa, y el efluente satisfaga ciertos requisitos para evitar la contaminación de las corrientes.	

Desengrasador o trampas de grasas

Las trampas de grasas son equipo de tratamiento de aguas residuales que, generalmente, se utilizan para separar las grasas y aceites. Su principal finalidad es la preservación del medio ambiente, evitando vertidos de aceites y grasas en el agua, siempre se utiliza para estos tipos de plantas.

que provocarían daños a la flora y fauna de los cuerpos hídricos naturales su instalación resulta también indispensable, antes de cualquier sistema de tratamiento biológico de aguas residuales y es uno de los sistemas de pretratamiento que siempre se utiliza para estos tipos de plantas.

Cuadro 5. Cuadro comparativo ventajas y desventajas Desengrasador o Trampas de grasas

Ventajas	Desventajas
Disminuye la acumulación de grasa	Complejidad en la instalación de los equipos
Controla los olores	La concentración de los contaminantes muy elevadas
Evita las obstrucciones de las líneas de drenaje	Perdidas en el proceso de desnatado
Facilita las tareas de limpieza	Exceso de materia orgánica.
Promueve remoción de DBO, DQO y Grasas	Excesos de grasas y aceites.
	Ambientes tóxicos.
	Malos olores.
	Problemas generales de mantenimiento y limpieza en líneas de drenajes

✓ Análisis y elección del Tanque Imhoff

La principal ventaja del tanque Imhoff es que los lodos se separan del efluente, lo que permite una sedimentación y una digestión más completa. Son un gran sistema para poblaciones pequeñas y una gran solución para acumular fangos primarios

Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente UASB

Esta tecnología proveniente de Holanda, es aplicada especialmente al tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica. El reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodo describe un reactor de biopelícula fija sin medio de empaque o soporte, con una cámara de digestión que tiene flujo ascendente y a cierta altura se desarrolla un manto de lodos anaerobios que es altamente activa y en el cual se da la estabilización de la materia orgánica del afluente hasta CH₄ y CO₂. (Caicedo, 2006).

Cuadro 6. Cuadro comparativo ventajas y desventajas Reactor UASB

Ventajas	Desventajas
- Alta eficiencia en la remoción incluso con altas tasas de carga de materia orgánica y bajas temperaturas	- La eliminación de patógenos es baja. Tampoco se eliminan fósforo nitrógeno.
- Construcción simple y de bajo costo, con muy limitados requerimientos de equipos electromecánicos	- La puesta en marcha de un reactor anaerobio es más larga comparada con los sistemas aerobios.
- El área ocupada por los equipos es menor que en tratamiento que necesitan aireación.	- Producción de malos olores y gases tóxicos.
- Se consume menos energía al no tener que aportar oxígeno mediante una bomba. Además, no se necesita llegar a una temperatura de operación alta.	- Eliminación parcial de patógenos con la excepción de huevos de helmintos que se capturan afectivamente en el lecho del lodo.
- Se producen menos lodos porque presentan menores tasas de crecimiento celular.	- Arranque lento si no se cuenta con el inocuo adecuado se ha comprobado que para aguas residuales domesticas o municipales el reactor puede arrancarse sin inocuo, aunque en un tiempo mayor.
- El lodo producido está estabilizado y presenta buenas condiciones de deshidratabilidad.	
- No requieren tanto aporte de nutrientes.	
- Soporta periodos sin alimentación (semanas incluso meses)	
- Puede aplicarse a pequeña y gran escala	
- La producción de lodo en exceso es baja	

Lodos activos convencionales

El proceso de lodos activados es un proceso biológico conocido como bioproceso, el cual permite desarrollar una depuración de origen natural donde los microorganismos presentes en el mismo, tratan el agua contaminada y la convierten a su estado natural mediante procesos anaerobios por medio de aireación prolongada y la recirculación de fangos activos que eliminan las sustancias biodegradables disueltas en las aguas residuales.

Cuadro 7. Cuadro comparativo ventajas y desventajas Lodos Activos

Ventajas	Desventajas
Buena confiabilidad de las unidades de proceso.	Limitación de la capacidad de carga de DBO.
Tecnología más versátil y difundida en todo el mundo	Pobre distribución de la carga orgánica.
El diseño del reactor como flujo pistón permite mejorar la eficiencia y reducir el área - La aireación escalonada optimiza la distribución de aire en el reactor	Requerimiento de 4 a 8 horas como tiempo de aireación.
Simplicidad Operativa	Reacción adversa frente a variaciones extremas de la carga hidráulica, orgánica o tóxica.
Flexibilidad o Rendimiento en la Operación	Consumo de energía de los compresores mecánicos.
Facilidad para mejorar procesos	Mantenimiento de los difusores.

✓ Análisis y Elección del Reactor UASB.

Los países en vías de desarrollo promueven el uso de tecnologías de bajo costo para áreas urbano-rurales pequeñas. Con un buen diseño del reactor pueden contrarrestarse las desventajas y aprovechar muchas de sus cualidades. El reactor UASB es un proceso económico, que disminuye apreciablemente los costos de inversión y operación de un proyecto de una planta de tratamiento que involucre este proceso.

Sin embargo, el diseño y la operación de un reactor de lodo activado generalmente requiere expertos en diseño de sistemas biológicos para monitorearlo. Es necesario que existan operadores y supervisores altamente calificados que puedan verificar la viabilidad y la eficiencia de las bacterias en el lodo para evitar alteraciones del sistema. El tiempo de retención hidráulica muy largos para lograr niveles adecuados de resultados de tratamiento. Los tanques del reactor para el proceso de lodo activado (ASP) tienden a ser bastante grandes para tratar grandes volúmenes de efluente. Esto requiere grandes áreas de tierra necesarias para su operación. Por estos motivos nos inclinamos por el reactor UASB.

Laguna facultativa

Laguna o estanque de tratamiento con una sección superior aerobia y una inferior anaerobia de modo tal que los procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos se produzcan en forma simultánea. Laguna de coloración verdosa cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa primaria existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables. El propósito de las lagunas facultativas es remover la DBO bajo condiciones aeróbicas, aprovechando principalmente la simbiosis entre las algas y bacterias.

Cuadro 8. Cuadro comparativo ventajas y desventajas Laguna Facultativa

Ventajas	Desventajas
Bajos costos de inversión, sobre todo si el terreno es suficientemente impermeable, y facilidad constructiva.	Para la implantación de Lagunas Facultativas y de Maduración, se precisan grandes extensiones de terreno.
Consumo energético nulo, si el agua a tratar puede llegar por gravedad a la depuradora.	Dada su estrecha dependencia de las condiciones climáticas, la implantación de este sistema de depuración puede verse limitada en zonas frías o de baja radiación solar.
Ausencia de averías mecánicas al carecer de equipos.	En el caso de las Lagunas Anaerobias se desprenden olores desagradables, que obliga a situarlas en lugares alejados de las zonas habitadas.
Escaso y simple mantenimiento, que se limita a retirar los residuos del Pretratamiento y a mantener la superficie de las Lagunas libre de flotantes, para evitar la proliferación de mosquitos.	Recuperación lenta cuando se produce el deterioro del sistema biológico.
Escasa producción de fangos, a consecuencia de los elevados tiempos de retención con los que se opera, lo que facilita enormemente su manipulación y evacuación.	Efluentes finales con sólidos en suspensión (microalgas).
Gran inercia, lo que permite una fácil adaptación a cambios de caudal y de carga orgánica.	Pérdidas de agua por evaporación.
Alto poder de abatimiento de microorganismos patógenos.	

Laguna de estabilización

Las lagunas de estabilización son simplemente tanques de dimensiones específicas, diseñadas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas o industriales por un proceso bioquímico de purificación natural. Deben ser de forma regular, más bien rectangular, con esquinas redondeadas y, si se utiliza el proceso aeróbico, de profundidad no mayor de 1.20 m, para que puedan penetrar los rayos solares hasta el fondo, y nunca de menos de 1 m de profundidad para impedir que se produzca el crecimiento de malezas.

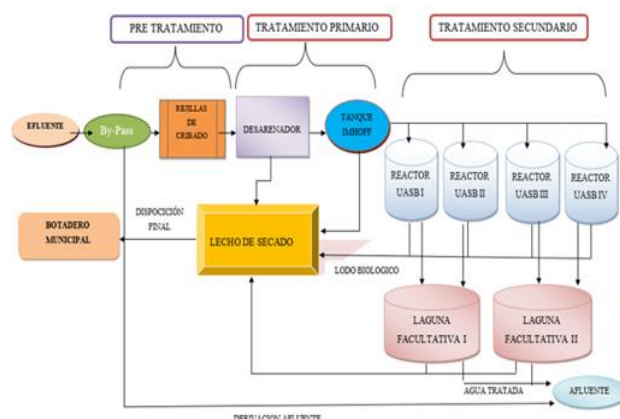
Cuadro 9. Cuadro comparativo ventajas y desventajas Laguna de Estabilización

Ventajas	Desventajas
Resistente a variaciones en el caudal y carga orgánica aplicada	Requiere de un terreno grande
Alta reducción de sólidos, DBO y patógenos	El costo de inversión puede ser muy alto, dependiendo del precio del terreno
Alta remoción de nutrientes si se combina con acuicultura	Requiere experiencia en diseño y construcción
Bajo costo de operación	El lodo requiere adecuada remoción y tratamiento
No requiere energía eléctrica	Puede generar malos olores

✓ Análisis y elección de la Laguna Facultativa

Conociendo ventajas y desventajas de las diferentes lagunas no inclinamos por las Lagunas Facultativas por la facilidad del terreno que se dispone y el costo de su implementación es bajo a comparación de otros sistemas de depuración por lo que es la mejor opción

Figura 1 Diagrama de flujo de la PTAR para el Municipio de Padcaya-Tarija



Conclusiones

Se caracterizaron las aguas residuales del efluente principal quebrada “Los Tacos” del Municipio de Padcaya obteniéndose resultados que superan los límites permisibles de la ley 1333 en los parámetros de DBO con 1953 mg/l, DQO con 2740 mg/l, Sólidos Suspendedos con 252 mg/l SS, Coliformes Fecales con ≥ 2400 NMP/100ml, Nitrógeno Total con 164 mg/l N - NH_4^+ , Oxígeno Disuelto con 7.54 mg/l, Aceites y Grasas con 99.7 mg/l.

Con los datos del laboratorio y el caudal del efluente, se logró las dimensiones óptimas de los equipos a implementar: Rejillas, Desarenador, Tanque Imhoff, Reactor UASB, Laguna Facultativa y Lecho de Secado.

El nivel de eficiencia de remoción con el tratamiento propuesto es: para DBO de 85%, DQO 85%, aceites y grasas 65%, sólidos totales 60%, de Coliformes Fecales de un 70%, Fósforo Total 90%, de Nitrógeno Amoniacal 40%, es decir que a la salida del sistema son aptos para su descarga y cumplen los límites máximos permisibles.

La planta de tratamiento propuesta, requiere un área aproximada de 820 m² para su implementación y pueda tratar el efluente total del agua con una eficiencia general de un 72%.

La tecnología elegida para el tratamiento de las aguas residuales del Municipio de Padcaya en su operación se limita al mantenimiento y revisión constante en cada etapa, no considerándose de difícil manejo para los trabajadores.

Referencias

- Acuatécnica S.A.S. (09 de enero de 2017). PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS. Obtenido de <https://acuatecnica.com/https://acuatecnica.com/proceso-tratamiento-aguas-residuales-urbanas/#:~:text=Las%20aguas%20residuales%20urbanas%20son,seg%C3%BAAn%20el%20tipo%20de%20contaminaci%C3%B3n>.
- Caicedo, F. J. (2006). Diseño, construcción y arranque de un reactor U.A.S.B. piloto para el tratamiento de lixiviados. Tesis de Especialidad en Ingeniería Ambiental-Área Sanitaria.
- Cámara de Senadores. (2021). <https://web.senado.gob.bo/prensa/noticias/senado-aprueba-reconocimiento-al-municipio-de-padcaya-en-su-127-aniversario>.
- Chernicharo, C. A. (2020). Obtenido de Serie de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales. (Vol. 4): <https://limaens.paginas.ufsc.br/files/2020/09/volume-4.pdf>.
- Cordoba, D. (8 de marzo de 2017). Tratamiento de aguas residuales. Obtenido de www.slidshare.net
- Cosaalt. (2022). https://cosaalt.org.bo/?page_id=2095.
- ELAPAS. (2003). Proyecto de agua potable y alcantarillado Sucre II. Sucre, Bolivia.
- EMAT, E. M. (2009). Gobierno Municipal de Tarija Provincia Cercado. Obtenido de <https://docplayer.es/32094812-Entidad-municipal-de-aseo-tarija-emat-2009.html>
- Ley 1333 del Medio Ambiente, N. (1992). Ley del Medio Ambiente Ley 1333. La Paz: U.P.S.
- López Torrejón, M. (2022). Alcantarillado Sanitario y Tratamiento de Aguas Residuales de Cotagaita. Potosí, Cotagaita.
- Márquez, M., & González, M. (2011). Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología. Obtenido de Centro Tecnológico Aragón. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/referencie_attachments/M%C3%81RQUEZ%20y%20MART%C3%8DNEZ%202011%20Reactores%20Anaerobios.pdf.
- McLean, R.C. (2009). “Tratamiento de Aguas Residuales de Honduras: Tratamiento Primario Mejorado Químicamente y Tecnologías Sostenibles de Tratamiento Secundario para Uso con Tanques Imhoff”. Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento.
- Mercado, A. (2013). Lagunas de estabilización. Santa Cruz de la Sierra, Santa Cruz, Bolivia: Ralcea.
- Metcalf, & Eddy. (1995). Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización (Tercera ed., Vol. 1). (J. d. Trillo, Trad.) Madrid, España
- Metcalf, & Eddy. (1996). Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización, volumen 1. Barcelona: McGraw Hill.
- Noyola, A. (2000). Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales. México: Subcoordinacion de Editorial y Grafica.
- OIT. (marzo de 2021). Equipos de Protección Personal (EPP). Seguridad y Salud en el Trabajo, 2-12. Obtenido de <http://www.cepb.org.bo/wp-content/uploads/2021/04/9-EQUIPOS-DE-PROTECCION-PERSONAL.pdf>

- Organización Panamericana de la Salud. (2005). Caja de herramientas de saneamiento sostenible y gestión del agua. Publicación Mensual, 40-51.
- Organización Panamericana. (2005). Guía para el diseño de tanque sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización. Lima: UNATSABAR.
- Orozco, A. (2005). Bioingeniería de aguas residuales. Bogotá: Acodal.
- Ortiz Villegas, J. C. (2021). Ingeniería Sanitaria IV (Vol. 1). Sucre, Sucre, Bolivia.
- Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, L. 1. (1992). Ley 1333 de Medio Ambiente. La Paz: U.P.S.
- Romero, B., & Lizet, D. (2019). Efectos de los tenso activo en el medio ambiente. Effects of surfactants on the environment, 1.
- Villalba, R., Dalence, G., & Rico, L. V. (2007). Reglamentos técnicos de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial (3 ed.). La Paz, La Paz, Bolivia.
- Villela, diego josué robin macloni morán. (2014). diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para eL. Tesis de grado, 118.

INSTRUCCIONES PARA AUTORES

Los investigadores interesados deben tener en cuenta lo siguiente:

- Los proyectos deben ser originales y no estar bajo revisión en ninguna otra publicación.
- Se aceptarán proyectos escritos en español.
- Los proyectos deben seguir las normas de formato y estilo establecidas por la revista (Asentamiento bibliográfico APA – séptima edición)

Proceso de presentación:

Los investigadores deben enviar sus trabajos de investigación a través del correo institucional de la Carrera de Ingeniería Ambiental revista.ambiental@usfx.bo en el caso de los profesionales de ingeniería ambiental que han presentado proyecto de grado o trabajo dirigido, pueden escribir un artículo científico de su trabajo, los proyectos se deben presentar en formato WORD y deben incluir:

- **TÍTULO:**

El título del proyecto debe ser conciso e informativo, con una extensión máxima de 15 palabras y debe estar escrito en letras minúsculas, sin incluir abreviaciones.

- **AUTOR (ES) Y AFILIACIÓN:**

Deben figurar los nombres completos de los autores, en el orden de importancia de su contribución a la investigación. Se permite un mínimo de un autor y un máximo de cinco. Junto a los nombres de los autores, se debe indicar la institución de afiliación, en este caso, "Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca".

- **RESUMEN (en párrafos sin subtítulos):**

El resumen debe describir de manera clara y concisa todos los aspectos esenciales de la investigación y debe estar estructurado en párrafos sin subtítulos. Deberá incluir información sobre el propósito del estudio o investigación, los procedimientos básicos utilizados, los resultados relevantes con especificaciones de datos y significancia estadística, así como las principales conclusiones. El resumen no debe contener referencias bibliográficas y su extensión no debe superar las 200 palabras. También se deben incluir palabras clave.

- **PALABRAS CLAVE:**

Se deben proporcionar entre tres y cinco palabras clave que identifiquen las principales temáticas de la investigación.

- **ABSTRACT AND KEY WORDS:**

Deberá incluirse la traducción del resumen y las palabras clave del idioma inglés. Se recomienda evitar el uso de software traductor para la traducción, ya que puede generar incoherencias en el texto.

- **FORMATO DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO:**

A continuación, se describen las secciones que debe contener el artículo científico:

a) Introducción: En esta sección, se debe proporcionar información adecuadamente redactada y contextualizada para guiar al lector hacia la pregunta o hipótesis de investigación. Cada oración, excepto las redactadas originalmente por el autor, debe llevar las correspondientes citas bibliográficas siguiendo el formato de asentamiento bibliográfico APA (séptima edición). En caso de citar múltiples referencias al final de una frase, estas deben ordenarse por año de publicación, desde la más antigua hasta la más reciente.

b) Materiales y métodos: En esta sección, se deben describir de manera concisa y clara, los materiales utilizados y centrarse en describir específicamente los métodos empleados. Debe evitarse la inclusión de descripciones poco claras o generales de las metodologías. Se debe respaldar el uso de las metodologías a través de literatura que las haya validado previamente, a menos que se trate de metodologías originales generadas durante la investigación. También se debe describir claramente los tipos de análisis, variables de respuesta e independientes, el tipo de diseño (experimental u observacional), tamaño de la muestra y métodos estadísticos utilizados.

c) Resultados: Esta sección debe describir los resultados relevantes en un orden similar al utilizado en la descripción de la metodología. Si se han utilizado herramientas estadísticas, se deben incluir los parámetros estadísticos apropiados de cada prueba aplicada.

d) Discusión: En esta sección, se deben discutir los resultados más destacados en relación con investigaciones previas que respalden o, en su caso, contradigan los hallazgos de la investigación. Debe evitarse la especulación y respaldar las afirmaciones con referencias bibliográficas. Generalmente, el último párrafo de la discusión se utiliza para incluir conclusiones y sugerencias relacionadas con el trabajo.

e) Conclusiones: Esta sección debe enfatizar los aspectos nuevos e importantes del estudio y las conclusiones deben relacionarse con los objetivos de la investigación. Debe evitarse la repetición de datos ya presentados en secciones anteriores.

f) Agradecimientos (opcional): En esta sección, los autores pueden expresar su agradecimiento a aquellos que hayan brindado apoyo logístico, financiero o académico a la investigación.

g) Referencias: Deben coincidir con las citas utilizadas en el artículo, siguiendo la norma APA (séptima edición). El número de referencias no debe exceder las 30 y deben ser de los últimos 5 años.

h) Tablas y figuras: Las tablas y figuras deben ser auto explicativas y contar con un índice que incluya la leyenda de la información proporcionada, el significado de las abreviaciones o acrónimos, y en algunos casos, la descripción de patrones destacados. Se recomienda que las figuras sean monocromáticas y generadas en programas adecuados para la publicación. Las tablas pueden ser generadas en programas como Word. Se debe evitar el uso de colores que dificulten la lectura en las figuras.

i) Anexo I: En este anexo, los autores pueden incluir material de apoyo necesario para la comprensión de su investigación, como fotografías o scripts.

j) Anexo II: Este anexo debe contener el formulario de registro del proyecto y copias de los documentos de identidad de los investigadores.

k) Cantidad de páginas, debe estar entre 8 a 12 páginas, incluida bibliografía

Siguiendo estas pautas, los autores podrán presentar sus proyectos de manera clara y organizada, lo que facilitará la revisión y evaluación por parte del comité de revisión de la revista científica.

Evaluación y selección:

Todos los proyectos serán sometidos a un proceso de revisión por pares, en el que expertos en el campo evaluarán la calidad, la originalidad y la relevancia. Los autores serán notificados sobre los resultados de la revisión, en caso de aceptación, recibirán orientación para la preparación final del artículo.

Comité arbitral

La revista cuenta con un comité arbitral conformado por expertos en las áreas mencionadas, provenientes de universidades nacionales e internacionales. Estos evaluadores realizarán una revisión imparcial y rigurosa de los artículos presentados, para garantizar la calidad, pertinencia y relevancia de los mismos.

Proceso de revisión por pares

Todos los proyectos presentados serán sometidos a un proceso de revisión por pares, donde expertos en el campo evaluarán la calidad, originalidad y relevancia de los proyectos. Este proceso es esencial para garantizar la excelencia científica de la revista.

Comunicación de resultados

Todos los investigadores recibirán una notificación sobre los resultados de la revisión a sus correos electrónicos. Los proyectos pueden ser aceptados, rechazados o requerir revisiones adicionales. Se proporcionará retroalimentación constructiva en caso de rechazo o necesidad de revisión.

Preparación para la publicación

Los autores de proyectos aceptados trabajarán en colaboración con el equipo editorial de la revista para asegurar que sus proyectos cumplan con los requisitos de formato y contenido de la revista.

Publicación y difusión

Los trabajos seleccionados serán publicados en la revista Ingeniería Sostenible Ambiental de la Universidad San Francisco Xavier (USFX). Esta publicación cuenta con ISSN tanto en formato digital como impreso, y está disponible en la plataforma oficial de la universidad. La revista se distribuye ampliamente en las comunidades académica y científica a nivel local, nacional e internacional, contribuyendo significativamente al avance y la difusión del conocimiento en el campo de la ingeniería ambiental.

Transparencia en el Proceso

La prioridad de la revista es mantener un proceso de revisión y selección transparente y justo. Los investigadores pueden confiar en que sus proyectos serán evaluados de manera imparcial y recibirán comentarios constructivos para mejorar la calidad de sus investigaciones.

Cualquier información adicional será suministrada por el correo electrónico revista.ambiental@usfx.bo

Mayores referencias: página web: <https://revistas.usfx.bo/index.php/ingsostenibleambiental>



17:00