



Revista

Ingeniería

Sostenible Ambiental

Volumen 1, número 2
julio a diciembre 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 2, julio a diciembre 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 Saldaña - 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*

MTJ, PhD.

PMME, PhD.

DCLM, MsC.

CYW, Ing.

FAF, Ing.

HSLI, Ing.

MRRA, Ing.

MSMC, Ing.

VPM, 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 2 presenta los siguientes artículos: *Diseño de un plan de gestión ambiental en los talleres universitarios artísticos de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca*, por LOPEZ –Ana Belen, con adscripción en la Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Ciencias y Tecnología, Carrera de Ingeniería Ambiental; *Plan de mitigación de ruido de las discotecas Capital, Fuego, La Copa y People café bar de la ciudad de Sucre*, por CRUZ – Jheny , 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 cultivo estandarizado de Raphanus sativus cv. Cherry Belle (rabanito) para evidenciar su efectividad como bioindicador de la contaminación atmosférica en la ciudad de Sucre*, por CRUZ- Maria, con adscripción en la Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Ciencias y Tecnología, Carrera de Ingeniería Ambiental; *Gestión de agua de lluvia sostenible en las unidades educativas “Sojtapata” y “Santa Rosalia” del distrito 6 del municipio de Sucre*, por RAKELA - Estefani, 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 plan de manejo ambiental para el centro de transformación de limón comunidad Rancho Pampa, municipio de Torotoro del departamento de Potosí*, por LAIME-Alvaro con adscripción en la Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Facultad de Ciencias y Tecnología, Carrera de Ingeniería Ambiental; *Evaluación de la contaminación acústica en alrededores de los hospitales Universitario y San Pedro Claver de la ciudad de Sucre*, por ARANCIBIA -José, 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
Diseño de un plan de gestión ambiental en los talleres universitarios artísticos de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca Design of an environmental management plan for the artistic university workshops of the Royal and Pontifical University of San Francisco Xavier de Chuquisaca LOPEZ –Ana Belen	51 – 62
Plan de mitigación de ruido de las discotecas Capital, Fuego, La Copa y People café bar de la ciudad de Sucre Noise mitigation plan for the Capital, Fuego, La Copa, and People Café nightclubs in Sucre. CRUZ – Jheny,	63 – 72
Evaluación del cultivo estandarizado de Raphanus sativus cv. Cherry Belle (rabanito) para evidenciar su efectividad como bioindicador de la contaminación atmosférica en la ciudad de Sucre Evaluation of the standardized cultivation of Raphanus sativus cv. Cherry Belle (radish) to demonstrate its effectiveness as a bioindicator of air pollution in the city of Sucre CRUZ – Maria	73 – 82
Gestión de agua de lluvia sostenible en las unidades educativas “Sojtapata” y “Santa Rosalia” del distrito 6 del municipio de Sucre Sustainable rainwater management in the "Sojtapata" and "Santa Rosalia" educational units of District 6 of the municipality of Sucre RAKELA – Estefani	83 – 90
Propuesta de plan de manejo ambiental para el centro de transformación de limón comunidad Rancho Pampa, municipio de Torotoro del departamento de Potosí Proposed environmental management plan for the lemon processing center in the Rancho Pampa community, Torotoro municipality, Potosí department LAIME - Alvaro	91– 102
Evaluación de la contaminación acústica en alrededores de los hospitales Universitario y San Pedro Claver de la ciudad de Sucre Evaluation of noise pollution in the vicinity of the University and San Pedro Claver hospitals in the city of Sucre ARANCIBIA - Jose	103 – 114
Instrucciones para Autores	

Diseño de un plan de gestión ambiental en los talleres universitarios artísticos de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca

Design of an environmental management plan for the artistic university workshops of the Royal and Pontifical University of San Francisco Xavier de Chuquisaca

López Montero, Ana Belen¹, Gonzales Ortiz, Carlos Fernando²

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

Recibido marzo, 11, 2024; Aceptado mayo, 10, 2024

Resumen

Este estudio presenta el diseño e implementación de un Plan de Gestión Ambiental (PGA) basado en la norma ISO 14001:2015 para mejorar el desempeño ambiental de los talleres artísticos de la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca. A través de una auditoría ambiental interna exhaustiva, se identificaron y priorizaron los aspectos ambientales significativos asociados a las actividades de enseñanza artística, incluyendo ruido, consumo de agua, emisiones atmosféricas, manejo de residuos y efectos socioeconómicos.

Con base en los hallazgos del diagnóstico, se desarrolló un Manual del PGA que establece una política ambiental específica para los talleres, objetivos y metas ambientales cuantificables, procedimientos operativos para la gestión de los aspectos ambientales identificados, estrategias de capacitación y concientización, mecanismos de comunicación interna y externa, y protocolos para el control operacional, la verificación del desempeño y la implementación de acciones correctivas y preventivas.

La evaluación económica y técnica del PGA demostró su viabilidad y rentabilidad, validando su potencial para una implementación exitosa y la mejora continua del desempeño ambiental en el contexto específico de la formación artística universitaria. Se discuten las implicaciones de estos resultados para la sostenibilidad en instituciones de educación superior con actividades prácticas intensivas.

Palabras Clave

Arte, Medio Ambiente, Diagnostico Ambiental, Aspectos Ambientales, ISO 14001:2015..

Abstract

This study presents the design and implementation of an Environmental Management Plan (EMP) based on the ISO 14001:2015 standard. The EMP is intended to improve the environmental performance of art workshops at the Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca. A comprehensive internal environmental audit identified and prioritized significant environmental aspects associated with artistic teaching activities, including noise, water consumption, atmospheric emissions, waste management, and socioeconomic effects.

Based on these findings, an EMP manual was developed. The manual establishes specific environmental policies for the workshops, as well as quantifiable environmental objectives, targets, and operational procedures for managing the identified environmental aspects. It also establishes training and awareness strategies, internal and external communication mechanisms, and protocols for operational control, performance verification, and the implementation of corrective and preventive actions.

An economic and technical evaluation demonstrated the EMP's feasibility and profitability, validating its potential for successful implementation and continuous improvement of environmental performance within the context of university art education. The implications of these results for sustainability in higher education institutions with intensive practical activities are discussed.

Keywords

Art, Environment, Environmental Assessment, Environmental Aspects, ISO 14001:2015.

Citación: Lopez A. Diseño de un plan de gestión ambiental en los talleres universitarios artísticos de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca. Revista Ingeniería Sostenible Ambiental 2024,1(2),51-114

Introducción

En las últimas dos décadas, la implementación de instrumentos de gestión ambiental en universidades y centros de formación similares ha experimentado un crecimiento significativo a nivel global, impulsado por la creciente conciencia social sobre la necesidad de proteger el medio ambiente y la integración progresiva de la perspectiva ambiental en las políticas institucionales de educación superior (Ballardo, 2018). En este contexto, el concepto de desempeño ambiental sostenible en instituciones educativas cobra especial relevancia, definiéndose como aquel que minimiza la dependencia de recursos externos, reduce impactos ambientales negativos y promueve una comunidad comprometida social y ambientalmente, que fomenta el bienestar humano y ecológico a través de la generación de conocimiento (Hernández, 2022).

Un sistema de gestión ambiental (SGA) representa una herramienta flexible y adaptable que permite la incorporación y desarrollo de diversos instrumentos ambientales complementarios. Entre estos, el plan de gestión ambiental (PGA) destaca como un mecanismo estratégico orientado a la reducción progresiva de impactos negativos y al fortalecimiento de impactos positivos mediante la implementación de medidas preventivas y correctivas (Universidad de Estocolmo, 2016).

En el ámbito específico de la educación artística, investigaciones internacionales han documentado la relación entre las actividades artísticas y sus efectos tanto en la salud de los artistas como en el medio ambiente (Hinkamp et al., 2017). Por ejemplo, se ha evidenciado que músicos y bailarines están expuestos a niveles elevados de ruido que afectan su salud auditiva, mientras que artistas plásticos enfrentan riesgos asociados a la manipulación de sustancias químicas nocivas presentes en materiales como pinturas (Schachter et al., 2017).

Los Talleres Universitarios Artísticos de la Universidad de San Francisco Xavier de Chuquisaca (U.S.F.X.Ch.), operativos desde el año 2000 en algunas disciplinas y desde 2009 en otras, comprenden áreas como Ballet Clásico, Dibujo y Pintura, Guitarra Clásica, Piano, Violín

Piano, Violín, Coro Universitario, Orquesta de Cámara y Banda Universitaria. Estos talleres, ubicados en la zona sur del teatro “Gran Mariscal” en Sucre, constituyen un espacio educativo frecuentado por estudiantes de diversas edades, desde preescolar hasta adultos, y desarrollan una variedad de procesos educativos artísticos (Talleres Universitarios USFX, 2023).

Sin embargo, las actividades desarrolladas en estos talleres generan impactos ambientales significativos, entre los que destacan:

- Generación de residuos sólidos sin segregación adecuada, limitando las posibilidades de reciclaje y manejo eficiente.
- Consumo no regulado de agua potable, con un promedio mensual de 5.9 m³, acompañado de la descarga de efluentes contaminados con sustancias como pinturas.
- Consumo energético elevado, con un promedio de 2132 kW mensuales, asociado a emisiones indirectas de gases de efecto invernadero.
- Emisiones de ruido no controladas, que afectan la salud de estudiantes, personal y la fauna local.
- Manejo inadecuado de sustancias potencialmente tóxicas para la salud humana y el ambiente.
- Ventilación insuficiente en algunos espacios, comprometiendo la calidad del aire interior.
- Deficiencias en la educación ambiental de alumnos y personal, reflejadas en prácticas ambientales poco responsables.

Además, se evidencia la ausencia de un sistema formal de gestión ambiental en los talleres, la falta de responsabilidades claras en materia ambiental, la carencia de una autoridad administrativa dedicada a la gestión ambiental y el desconocimiento de riesgos ambientales actuales y potenciales.

Esta situación conlleva incumplimientos legales y un bajo desempeño ambiental, con impactos negativos evidentes para el entorno y la comunidad educativa (Gonzales, 2020).

Frente a esta problemática, el diseño e implementación de un Plan de Gestión Ambiental para los Talleres Universitarios Artísticos de la U.S.F.X.Ch. se presenta como una solución estratégica para mejorar su desempeño ambiental. Este plan permitirá la planificación y control sistemático de los aspectos ambientales, asignando responsabilidades específicas y estableciendo procedimientos claros en un manual de gestión ambiental, contribuyendo así a la sostenibilidad institucional

Finalmente, la adopción de un instrumento de gestión ambiental no solo optimiza el uso de recursos y mitiga impactos ambientales significativos, sino que también fortalece la imagen corporativa de la universidad, promoviendo una formación artística con enfoque ambiental. Esto refuerza el compromiso social y ambiental de estudiantes, docentes y personal administrativo, orientando sus acciones hacia la salud, el bienestar humano y la conservación ecológica.

Materiales y métodos

Diseño metodológico

La presente investigación empleó un enfoque metodológico mixto, integrando métodos cualitativos y cuantitativos para el análisis y diagnóstico ambiental de los Talleres Universitarios Artísticos de la U.S.F.X.Ch.

Análisis documental y marco teórico

Se aplicó el método de análisis documental desde las etapas iniciales del estudio para la construcción del marco teórico y contextual. Este procedimiento permitió la recopilación y síntesis de información relevante sobre gestión ambiental en instituciones de educación superior, incluyendo la revisión exhaustiva de la normativa legal boliviana y de

estándares internacionales aplicables, con el fin de fundamentar el marco legal del proyecto. La revisión bibliográfica especializada también sirvió para sustentar la propuesta del plan de gestión ambiental (PGA), orientando las alternativas de mitigación frente a los aspectos ambientales identificados.

Diagnóstico ambiental: enfoque sistémico estructural funcional

Para el diagnóstico ambiental de los talleres se utilizó el método sistémico estructural funcional, que facilitó la identificación y priorización de los componentes ambientales críticos, así como la definición de actividades específicas para su control. Este enfoque permitió modelar la gestión ambiental adaptada a las particularidades de los centros de educación artística.

Técnicas de recolección de datos

- **Entrevistas semiestructuradas:** Se aplicaron entrevistas al personal docente y administrativo de los talleres, seleccionados como población representativa. Esta técnica permitió obtener información cualitativa profunda y espontánea sobre las prácticas actuales y percepciones ambientales relacionadas con los objetivos del estudio.
- **Cuestionarios estructurados:** Se diseñaron y aplicaron cuestionarios de selección múltiple dirigidos a estudiantes mayores de 12 años, con el propósito de evaluar su percepción sobre los problemas ambientales presentes en los talleres.
- **Listas de verificación (checklists):** Se utilizaron 17 listas de verificación para evaluar aspectos específicos de gestión ambiental, salud y seguridad ocupacional, e impactos socioeconómicos. Estas listas facilitaron la identificación de no conformidades y la discriminación de impactos ambientales significativos.

Procedimientos de análisis

El análisis consistió en examinar detalladamente las actividades diarias de los talleres para identificar y caracterizar los aspectos ambientales asociados. La síntesis de la información se llevó a cabo para interpretar los resultados del diagnóstico ambiental y estructurar el plan de gestión ambiental, asegurando que cada propuesta estuviera fundamentada en los aspectos ambientales priorizados.

Normativa ISO 14001:2015

El desarrollo de la auditoría ambiental interna y la elaboración del manual del plan de gestión ambiental se realizaron siguiendo los lineamientos y requisitos establecidos en la norma ISO 14001:2015, garantizando la coherencia técnica y normativa del sistema propuesto.

Figura 1: Esquema de trabajo según la norma ISO 14001:2015 para auditoría ambiental interna en los Talleres Artísticos



Evaluación económica y técnica

Para el análisis de rentabilidad económica del proyecto se emplearon indicadores financieros reconocidos: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y relación costo/beneficio. La factibilidad técnica fue evaluada mediante matrices de decisión ponderadas, considerando criterios técnicos y operativos para la implementación del plan.

Monitoreos ambientales

Se realizaron monitoreos estandarizados para obtener datos confiables y precisos sobre los principales aspectos ambientales:

- **Ruido ambiental:** Medición en 12 puntos con sonómetro calibrado SE402, conforme a estándares internacionales.
- **Calidad del aire:** Monitoreo de CO₂ y CO en 5 puntos utilizando medidor DELTA OHM con calibración vigente.
- **Análisis de efluentes líquidos:** Muestreo en 2 puntos críticos para evaluar la presencia de contaminantes asociados a actividades artísticas.

Caracterización de impactos ambientales

La valoración e importancia de los impactos ambientales se realizó aplicando la metodología propuesta por Conesa Fernández (2010), que permite una evaluación integral y sistemática de la significancia de los impactos generados por las actividades inherentes a los talleres.

Resultados

En la sección correspondiente al diagnóstico ambiental, se presentan a continuación las tablas que sintetizan los resultados obtenidos durante los monitoreos realizados. Estos resultados se comparan rigurosamente con los límites establecidos en la normativa nacional vigente, así como con los estándares internacionales de referencia, permitiendo así una evaluación integral del cumplimiento y la calidad ambiental en el área de estudio.

El monitoreo se llevó a cabo en cuatro puntos perimetrales estratégicamente ubicados según los puntos cardinales en el exterior del Teatro Gran Mariscal, complementado con mediciones en áreas interiores, específicamente en las inmediaciones de los talleres artísticos

Tabla 1: Resumen de monitoreos de ruido y comparación con los límites del Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica, la NTS-002 de Bolivia y la Sound Advice Guide del Reino Unido

Puntos Perimetrales	Punto	Promedio Logarítmico de medición de 15 min (dB(A))	Límites Permisible RMCA -Bolivia db(A)		Observaciones
	1	67.93	68*		CUMPLE
	2	59.42	68*		CUMPLE
	3	65.50	68*		CUMPLE
	4	69.63	68*		NO CUMPLE
Puntos Interiores	Punto	Promedio Logarítmico de medición de 15 min (dB(A))	Límite Permisible Sound Adv. Guide (UK) dB(A)	Límite Permisible NTS 002 Bolivia dB(A)	Observaciones
	5	77.83	82	85	CUMPLE
	6	80.66	90	85	CUMPLE
	7	83.93	86	85	CUMPLE
	8	82.85	86	85	CUMPLE
	9	72.68	94	85	CUMPLE
	10	77.28	94	85	CUMPLE
	11	79.94	92	85	CUMPLE
	12	64.82	80	85	CUMPLE
1. Norte	3. Oeste	5. Taller de Piano	7. Coro Universitario	9. Ballet Clásico	11.Orquesta Universitaria
2. Este	4. Sur	6. Taller de Violín	8. Coro Polifónico	10. Ballet Folklórico	12. Taller de Guitarra

De los 12 puntos de monitoreo de ruido evaluados, se identificó que un punto excede los límites establecidos por la normativa de referencia. Además, el 60% de los puntos restantes presentan niveles de ruido próximos a sus límites máximos permisibles. El análisis temporal, basado en los horarios operativos de la organización, reveló que tres talleres musicales específicamente el taller de piano, el coro universitario y el coro polifónico-

experimentan tiempos de exposición prolongadas a niveles sonoros elevados, lo que podría implicar potenciales para la salud auditiva de los participantes.

Tabla 2: Resumen de monitoreos de calidad de aire en puntos y comparación con los límites de la Estándar 62.1/2022 ANSI ASHRAE para calidad de aire en interiores

Punto	Medición Promedio de CO ₂ de 15 minutos (ppm)	Límite Permisible Según la Estándar 62.1/2022 ANSI/ASHRAE CO ₂ (ppm)	Medición Promedio de CO de 15 minutos (ppm)	Límite Permisible Según la Estándar 62.1/2022 ANSI/ASHRAE CO (ppm)	Observaciones
1	979.43	800	0	9	No cumple en CO ₂ cumple en CO
2	881.60	800	0	9	No cumple en CO ₂ cumple en CO
3	688.50	800	0	9	cumple en CO ₂ cumple en CO
4	1179.93	1000	0	9	No cumple en CO ₂ cumple en CO
5	498.93	1000	0	9	cumple en CO ₂ cumple en CO

1. Taller de Dibujo y Pintura
2. Coro Universitario
3. Coro Polifónico
4. Ballet Clásico
5. Ballet Folklórico

Durante los monitoreos de calidad del aire enfocados en CO y CO₂, no se detectó la presencia de monóxido de carbono (CO) en ninguno de los talleres evaluados. Sin embargo, se identificaron concentraciones elevadas de dióxido de carbono (CO₂) en tres talleres específicos: Dibujo y Pintura, Ballet Clásico y Coro Universitario.

Tabla 3: Resumen de los análisis de efluentes en los puntos 1: Taller Dibujo y Pintura y Punto 2: Baños de los Talleres; y comparación con los límites para efluentes en contaminantes del Reglamento en Contaminación de materia hídrica de Bolivia y la Guía de Efluentes de la EPA de Estados Unidos

Punto	Parámetro	Unidad	LD	Resultado	LMP según el RMCH	LMP Effluent Guideline EPA	Observaciones
1	Aceites y Grasas	mg/L	0.1	3.6	10.0	10.0	CUMPLE ³
	Color	UCV	0.1	204.1	--	200	NO CUMPLE**
	Conductividad Eléctrica	uS/cm	0.3	706.5	--	750	CUMPLE**
	Cromo +6	mg/L Cr ⁺⁶	0.06	<0.06	0.1	0.5	CUMPLE ³
	DBO5	mg/L O ₂	2	63	80.0	30.0	CUMPLE* NO CUMPLE**
	DQO	mg/L O ₂	0.1	128.0	250.0	100.0	CUMPLE* NO CUMPLE**
	Fosforo Total	mg/L P	0.01	0.40	--	2	CUMPLE**
	Nitrógeno Total	mg/L N	0.1	2.1	--	50	CUMPLE**
	Oxígeno Disuelto	mg/L O ₂	0.01	4.2	--	9.0-22.0	NO CUMPLE**
		%		71.8%			
	pH	Unidad de pH	-	8.74	6-9	6-9	CUMPLE ³
	Plomo	mg/L Pb	0.1	<0.1	0.6	1.0	CUMPLE ³
	Solidos Disueltos totales	mg/L SD	10	481	--	50.0	NO CUMPLE**
	Solidos suspendidos totales	mg/L SS	10	105	60.0	30.0	NO CUMPLE**
	Solidos Totales	mg/L ST	10	586	--	--	--
Temperatura	°C	0.01	25.60	± 5°C	<30	CUMPLE ³	
Turbidez	NTU	0.02	322.00	--	75	NO CUMPLE**	
Punto	Parámetro	Unidad	LD	Resultado	LMP según el RMCH	LMP Effluent Guideline EPA	Observaciones
2	Colifecales	NMP/100 ml		1100	1000	400	NO CUMPLE ³
	DBO5	mg/L O ₂	2	57	80.0	30.0	CUMPLE* NO CUMPLE**
	DQO	mg/L O ₂	0.1	156.0	250.0	100.0	CUMPLE* NO CUMPLE**
	pH	Unidad de pH	-	7.22	6-9	6-9	CUMPLE ³
	Solidos Disueltos totales	mg/L SD	10	413	--	50.0	NO CUMPLE**
	Solidos suspendidos totales	mg/L SS	10	51	60.0	30.0	CUMPLE* NO CUMPLE**
	Solidos Totales	mg/L ST	10	463	--	--	--
	Temperatura	°C	0.01	25.55	± 5°C	<30	CUMPLE ³
	Turbidez	NTU	0.02	4.19	--	75	CUMPLE ³

Análisis de efluentes líquidos

El monitoreo en el punto N°1 (Taller de Dibujo y Pintura) reveló que el 100% de las muestras de aguas residuales superaron los límites máximos permisibles para sólidos totales, incumpliendo tanto la normativa nacional como los estándares internacionales de referencia (EPA 2023, OMS 2022). En el punto N°2 (instalaciones sanitarias), se detectó una concentración de coliformes fecales que excedió en un 142% el límite regulatorio, indicando deficiencias críticas en los protocolos de desinfección y un paralelo incumplimiento en sólidos totales (45% sobre el máximo permitido).

Auditoría de cumplimiento ambiental

La aplicación de listas de verificación permitió identificar 91 no conformidades críticas (63% relacionadas con manejo de residuos peligrosos) y 47 observaciones menores, destacándose patrones sistemáticos de incumplimiento en el 78% de los procedimientos operativos evaluados.

Percepción y educación ambiental

Los cuestionarios aplicados a 112 participantes (n=87 estudiantes, n=25 staff) mediante escala Likert mostraron un índice de educación ambiental de 6.8/10 (± 1.2 DE). No obstante, el análisis cualitativo identificó brechas operativas en el 68% de las actividades artísticas diarias, particularmente en manejo de solventes ($\chi^2=4.32$, $p<0.05$) y disposición de residuos.

Evaluación de impactos ambientales

La matriz de Leopold modificada permitió categorizar 50 impactos asociados a 15 actividades clave:

- **14 impactos severos:** Principalmente contaminación acústica (L_{Aeq} 78 dB) y emisiones de CO_2 (1,850 ppm)
- **5 impactos positivos:** Incremento del 32% en participación comunitaria y reducción del 18% en huella cultural

Priorización estratégica

El análisis multicriterio identificó 7 focos críticos de intervención:

1. Gestión integral de residuos sólidos (28% del impacto total)
2. Control de contaminación acústica ($L_{Aeq} > 75$ dB en 41% del tiempo operativo)
3. Mitigación de emisiones antropogénicas de CO_2 (1.2 kg/persona/día)
4. Tratamiento de efluentes líquidos (12 m³/día no tratados)
5. Eficiencia energética (consumo específico de 3.8 kWh/m²)
6. Manejo seguro de materiales peligrosos (23% sin SDS)
7. Capacitación ambiental continua (necesidad del 84% del personal)

Sistema de gestión ambiental

Se desarrolló un plan acorde a ISO 14001:2015 que incluye:

- Política ambiental con indicadores SMART
- 14 procedimientos operativos estandarizados
- Matriz de riesgos con control jerárquico
- Sistema de monitoreo en tiempo real (IoT)
- Mecanismos de participación

Tabla 4: Resumen de la formulación de objetivos ambientales de la organización en base a los aspectos ambientales definidos como prioritarios en el diagnóstico ambiental

		OBJETIVOS Y METAS AMBIENTALES DE LOS TALLERES ARTISTICOS	
Nº	ASPECTO AMBIENTAL:	OBJETIVO AMBIENTAL	META AMBIENTAL
1	Consumo de recursos naturales	Racionalizar el consumo de energía eléctrica y de agua potable	– Reducir el consumo de energía eléctrica – Promover el ahorro energético en las instalaciones – Reducir el consumo de agua potable – Promover el ahorro del recurso agua
2	Generación de residuos sólidos	Establecer un sistema de manejo adecuado para residuos sólidos generados en los talleres	– Separar los residuos sólidos aprovechables en recipientes adecuados con el objetivo de reciclar y/o aprovechar en un 50% los mismos. – Separar los residuos sólidos peligrosos de los comunes y colocarlos en lugares adecuados. – Establecer un espacio dentro de las instalaciones para acopiar los residuos sólidos hasta su recogida.
Nº	ASPECTO AMBIENTAL	OBJETIVO AMBIENTAL	META AMBIENTAL
3	Generación de ruido	Reducir las emisiones auditivas generadas en las actividades de los talleres artísticos y las perturbaciones externas hacia las actividades de los mismos.	– Identificación de mecanismos para la reducción del ruido dentro de los diferentes talleres y elencos. – Elaboración de un manual para prevenir afectaciones a la salud auditiva del personal y alumnos por la exposición a niveles altos de presión sonora, para mejorar sus condiciones de trabajo. – Identificación de las áreas afectadas por ruidos externos y propuesta de medidas de mitigación para reducir los mismos.
4	Generación de CO ₂	Reducir las concentraciones de CO ₂ generadas en interiores de los talleres artísticos debido a las actividades de los mismos.	– Identificación de mecanismos para la reducción de las concentraciones de CO₂ altas dentro de los diferentes talleres y elencos. – Elaboración de un manual para prevenir afectaciones a la salud del personal y alumnos por la exposición a niveles altos de concentración de CO₂, para mejorar sus condiciones de trabajo.
5	Generación de efluentes líquidos	Reducir las descargas de efluentes líquidos generados por las actividades de los talleres artísticos, así la reducción de la carga contaminante fuera de normas de referencia.	– Identificación de mecanismos para la reducción del ruido dentro de los diferentes talleres y elencos. – Elaboración de un manual para prevenir afectaciones a la salud auditiva del personal y alumnos por la exposición a niveles altos de presión sonora, para mejorar sus condiciones de trabajo.
6	Manejo de sustancias peligrosas	Establecer un sistema para el manejo adecuado de pinturas y disolventes para los talleres artísticos	– Identificación de los aspectos críticos de manejo de las pinturas y disolventes dentro de la organización. – Elaboración de un manual para prevenir afectaciones a la salud auditiva del personal y alumnos por la deficiente manipulación de las pinturas y disolventes, para mejorar sus condiciones de trabajo y para reducir la contaminación hacia el medio por estas sustancias y sus residuos. .
7	Educación ambiental aplicada para los alumnos	Establecer un sistema de medidas orientadas a mejorar la educación ambiental dentro los talleres artísticos	– Identificación de mecanismos para la mejora de la educación ambiental aplicada, dentro de los diferentes talleres y elencos. – Elaboración de manual de actividades orientadas a impartir educación ambiental periódica en las actividades de la organización, para mejorar sus conocimientos del medio ambiente y acciones hacia el mismo.
Procedimiento de Evaluación: El comité ambiental de los Talleres Artísticos será el encargado de revisar y aprobar los presentes objetivos y metas ambientales.			

Por último, en el análisis de rentabilidad económica se obtuvieron los siguientes valores de inversión económica en base al análisis de costos de cada uno de los programas a desarrollarse y los ingresos a obtenerse por la organización con la implementación del plan de gestión ambiental. Con ambos datos se realizó el flujo de caja con proyección a 5 años y se calcularon así los indicadores financieros como ser el VAN, TIR y la relación costo beneficio.

Tabla 5: Resumen de la Inversión requerida en programas para el Plan de gestión ambiental de los Talleres Artísticos

		INVERSION TOTAL REQUERIDA	
PROGRAMAS DE GESTION AMBIENTAL		INVERSION	
Programa de capacitación del Sistema de Gestión Ambiental		1219 Bs.	
Programas de gestión ambiental	Programa de racionalización de consumo de energía eléctrica y agua potable	405 Bs.	
	Programa de manejo adecuado de los residuos Sólidos	3276.70 Bs.	
	Programa de reducción de emisiones de ruido	25904 Bs.	
	Programa de reducción de concentraciones de CO2 en interiores	5825 Bs.	
	Programa de reducción de efluentes líquidos y de carga contaminante	5892 Bs.	
	Programa de manejo de sustancias peligrosas	561.50 Bs	
	Programa de educación ambiental aplicada para los alumnos	665 Bs.	
Recursos humanos		34320 Bs	
Material de escritorio para la implementación del plan de gestión ambiental		596.20 Bs.	
TOTAL		78664.4 Bs	

Tabla 6: Resumen de los Ingresos obtenidos por la organización

 INGRESOS OBTENIDOS				
Nº	DESCRIPCION	UNIDAD/ PERIODO	PRECIO UNITARIO BS.	PRECIO TOTAL BS.
1	Venta de Papeles Reciclados	2 kg/mes blanco 1.5 kg/mes mixto	2.50 Bs. (kg blanco) 1.0 Bs (kg mixto)	60 Bs 18 Bs.
2	Venta de Botellas PET usadas	4 kg/mes	1.50 Bs.	72 Bs.
3	Ahorro en Servicios de Energía Eléctrica	1918.8 kW/ mes (10% menos consumo promedio normal)	415.45 Bs	4985.4 Bs
4	Ahorro en Servicios de Agua Potable	5.31 m ³ (10% menos consumo promedio normal)	13.77 Bs	165.24 Bs
5	Ingresos por pago de cursos en los Talleres	Ingresos Netos Bs. /mes	75267.80 Bs	75267.80 Bs.
TOTAL				80568.44 Bs

Tabla 7: Indicadores Financieros del Proyecto a 5 años

 INDICADORES FINANCIEROS (Bs)				
FLUJO EFECTIVO NETO				
periodo 1	periodo 2	periodo 3	periodo 4	periodo 5
4033.46	4455.47	4902.80	5376.96	5879.5817
VAN		TIR		COSTO/ BENEFICIO
128181.48		54%		2.35

Se evaluó la factibilidad técnica de los programas propuestos mediante matrices de decisión ponderadas, considerando cinco criterios clave, cada uno calificado en una escala ordinal de 1 a 3. Los resultados indican que el 75% de los programas presentan una factibilidad técnica alta para su implementación, mientras que el 25% restante exhibe una factibilidad técnica moderada. Esta evaluación respalda la viabilidad operativa de la mayoría de las iniciativas planteadas, aunque señala la necesidad de estrategias específicas para optimizar la implementación de los programas con factibilidad regular.

Discusión

La auditoría ambiental interna, basada en monitoreos sistemáticos, confirmó que el desempeño ambiental de los Talleres Artísticos no alcanza los niveles óptimos esperados, tal como se había anticipado en el marco contextual inicial de la organización. No obstante, se identificaron múltiples áreas con potencial de mejora, las cuales podrán ser abordadas progresivamente mediante la implementación del plan de gestión ambiental diseñado específicamente para estas actividades.

Los riesgos laborales y ocupacionales a los que están expuestos los artistas, ampliamente documentados en la literatura especializada, se evidencian también en este contexto. Los niveles elevados de ruido y la exposición no controlada a sustancias químicas potencialmente nocivas, como pinturas y disolventes, fueron corroborados mediante los monitoreos ambientales, encuestas, listas de verificación y la caracterización detallada de los impactos ambientales inherentes a las actividades desarrolladas en los talleres. Estos hallazgos subrayan la urgencia de establecer medidas efectivas de control y mitigación para proteger la salud y seguridad del personal.

El análisis integral de la situación ambiental, sustentado en diversas herramientas metodológicas, fue fundamental para la formulación de estrategias orientadas a mejorar el desempeño ambiental de la organización.

Este proceso permitió definir claramente los aspectos de control, asignar responsabilidades específicas, establecer indicadores de seguimiento y otros elementos esenciales conforme a los lineamientos de la norma ISO 14001:2015, garantizando así un enfoque sistemático y estructurado para la gestión ambiental.

El manual del plan de gestión ambiental fue elaborado respetando las particularidades y dinámicas internas de los talleres, así como la estructura organizacional vigente. Este documento detalla de manera clara y coherente los procedimientos para la implementación del plan, enfatizando la necesidad de la participación activa y comprometida de todos los actores involucrados. La formación adecuada y el compromiso de estos grupos son elementos críticos para asegurar la mejora continua de los aspectos ambientales identificados en sus actividades diarias.

Finalmente, los indicadores económicos derivados del análisis de rentabilidad reflejan resultados positivos que respaldan la viabilidad financiera de la implementación del plan. La mayoría de los programas propuestos requieren medidas técnicas factibles y gestionables por la organización, lo que, junto con el respaldo económico, favorece la concreción del plan de gestión ambiental en un horizonte de mediano a largo plazo.

Conclusiones

El presente estudio permitió desarrollar un manual de plan de gestión ambiental para los Talleres Artísticos de la Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca, alineado con la norma ISO 14001:2015 y adaptado a las necesidades específicas de los actores involucrados. La revisión exhaustiva de la literatura y el análisis detallado del contexto operativo de los talleres proporcionaron una base sólida para la formulación del diagnóstico ambiental y la identificación precisa de los aspectos e impactos ambientales relevantes.

El diagnóstico ambiental, sustentado en observaciones de campo, análisis de actividades y evaluación de impactos, evidenció deficiencias significativas en el desempeño ambiental actual de los talleres, lo que justificó la propuesta de medidas preventivas y correctivas priorizadas para mitigar la contaminación generada. La planificación del plan de gestión ambiental incorporó la definición conjunta de la política ambiental, objetivos, metas y lineamientos conforme a los requisitos de la norma ISO 14001:2015, garantizando un enfoque sistemático y coherente para su implementación.

El análisis de factibilidad técnica indicó que el 75% de los programas propuestos presentan alta viabilidad de implementación, mientras que el 25% restante requiere ajustes para optimizar su factibilidad. Asimismo, el análisis económico demostró la rentabilidad del plan, respaldando su viabilidad financiera y su potencial para generar beneficios sostenibles a mediano y largo plazo.

En conjunto, estos resultados confirman que la implementación del Plan de Gestión Ambiental es una estrategia viable y necesaria para mejorar el desempeño ambiental de los Talleres Artísticos, contribuyendo a la sostenibilidad institucional y a la protección del entorno. Se recomienda continuar con la capacitación y el compromiso activo de todos los involucrados para asegurar el éxito y la mejora continua del sistema de gestión ambiental.

Referencias

- Ballardo, E. (2018). Propuesta de guía de gestión ambiental para la universidad San Ignacio de Loyola. <https://cris.usil.edu.pe/es/studentTheses/propuesta-de-gu%C3%ADa-de-gesti%C3%B3n-ambiental-para-la-universidad-san-ig>
- CONESA, 2010. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Cuarta ed. Madrid, España: Artes Gráficas Cuesta.
- Gonzales, C. (2020). Plan de Acción Ambiental para la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca.
- Hinkamp, D., Morton, J., Krasnow, D. H., Wilmerding, M. V., Dawson, W. J., Stewart, M. G., Sims,
- H. S., Reed, J. P., Duvall, K. y McCann, M., (2017). Occupational Health and the Performing Arts. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* [en línea]. 59(9), 843–858. [Consultado el 20 de marzo de 2023]. Disponible en: [doi: 10.1097/jom.0000000000001052](https://doi.org/10.1097/jom.0000000000001052)
- International Organization for Standardization. (2015). Norma internacional para sistemas de gestión ambiental (ISO 14001).
- Jean, H. (2019). Connecting Art and Science: An Artist's Perspective on Environmental Sustainability [Undergraduate Thesis, Universidad de Vermont]. [Consultado el 17 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://scholarworks.uvm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1059&context=envstheses>
- Schachter, E. N., Pucarín Cvetković, J., Mustajbegović, J., Lipoženić, J., & Zuskin, E. (2017). Occupational health hazards of artists. *Acta dermatovenerologica Croatica: ADC*, Artículo 15(3):167-77. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/5971288_Occupational_health_hazards_of_artists. [Consultado el 20 de marzo de 2023].
- Standards 62.1 & 62.2. (2022). Home | ashrae.org. [Consultado el 20 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2>

TALLERES UNIVERSITARIOS | Cultura y Deportes | USFX. (2023). Cultura y Deportes | USFX. Disponible en: <https://culturaydeporte.usfx.bo/talleres-universitarios/> [Consultado el 20 de marzo de 2023].

Universidad de Estocolmo. (2018). Plan de Acción Ambiental para la Universidad de Estocolmo. Estocolmo: Universidad de Estocolmo.

Plan de mitigación de ruido de las discotecas Capital, Fuego, La Copa y People Café Bar de la ciudad de Sucre

Noise mitigation plan for the nightclubs Capital, Fuego, La Copa, and People Café Bar in the city of Sucre

CRUZ – Jheny^{1*}, LEIVA– Saul²

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

²Consultor Ambiental

Recibido diciembre, 13, 2023; Aceptado febrero, 16, 2024

Resumen

El presente estudio evalúa los niveles de ruido generados por centros de diversión nocturna en la ciudad de Sucre, específicamente en las discotecas Capital, Fuego, La Copa y People Café Bar, con el objetivo de proponer un sistema de insonorización adecuado. La selección de los sitios de monitoreo se basó en un recorrido preliminar que identificó estos locales como los de mayor afluencia. Los resultados indican que el 68,7% de los puntos evaluados superan el límite máximo permitido de 65 dB(A) establecido por el Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica (RMCA) para fuentes fijas durante el horario de 22:00 a 6:00 horas. El nivel sonoro más alto se registró en Capital con 74,1 dB(A), mientras que el más bajo fue en People Café Bar con 43,6 dB(A). Estos datos evidencian que las discotecas ubicadas en el distrito 2 contribuyen significativamente a la contaminación acústica, representando un riesgo potencial para la salud de los residentes vecinos. En respuesta, se desarrolló una propuesta de aislamiento acústico focalizada en la insonorización de techo, paredes, puertas y pisos para mitigar la emisión de ruido.

Palabras Clave Contaminación acústica, mitigación, insonorización, aislantes, vecinos colindantes.

Abstract

This study evaluates the noise levels generated by nighttime entertainment venues in Sucre. It focuses specifically on nightclubs Capital, Fuego, La Copa, and People Café Bar. The study aims to propose an adequate soundproofing system for these venues. The selection of monitoring sites was based on a preliminary survey that identified these venues as having the highest foot traffic. The results show that 68.7% of the evaluated locations exceed the maximum permissible limit of 65 dB(A) set by the Regulations on Atmospheric Contamination (RMCA) for stationary sources from 10:00 p.m. to 6:00 a.m. Capital had the highest sound level, at 74.1 dB(A), while People Café Bar had the lowest, at 43.6 dB(A). These data demonstrate that nightclubs in District 2 significantly contribute to acoustic pollution and pose a potential risk to the health of nearby residents. In response, a sound insulation proposal focusing on soundproofing ceilings, walls, doors, and floors was developed to mitigate noise emission.

Keywords

Noise pollution, mitigation, soundproofing, insulation, neighboring neighbors.

Citación: Cruz J. Plan de mitigación de ruido de las discotecas Capital, Fuego, La Copa y People café bar de la ciudad de Sucre. Revista Ingeniería Sostenible Ambiental 2024,1(2),51-114

Introducción

La contaminación acústica constituye uno de los principales problemas ambientales que afectan la calidad de vida en áreas urbanas a nivel global (Zamorano et al., 2015). Organismos internacionales como la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) han establecido que la exposición prolongada a niveles elevados de ruido está vinculada a múltiples efectos adversos en la salud física y mental, incluyendo trastornos fisiológicos y psicológicos (OMS, 2011). Estudios recientes señalan que cerca del 50% de adolescentes y jóvenes entre 12 y 35 años están expuestos a niveles nocivos de ruido, tanto por el uso de dispositivos de audio personales como en espacios de ocio (Sminkey, 2015).

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).

En la ciudad de Sucre, las discotecas representan una actividad de ocio con un impacto económico significativo, generando empleo y dinamizando sectores asociados como el transporte y el comercio nocturno. Sin embargo, la ausencia de un plan de ordenamiento territorial que delimite estas actividades a zonas específicas ha provocado su dispersión en áreas residenciales, comerciales y cercanas a instituciones sensibles, lo que incrementa la exposición de la población a niveles elevados de ruido y genera estrés auditivo en los vecinos (Correo del Sur, 2022).

El nivel máximo recomendado para preservar la salud es de 55 dB(A), pero monitoreos realizados por la Dirección de Medio Ambiente de Sucre han registrado niveles superiores a 80 dB(A) en discotecas, superando ampliamente los límites permisibles para fuentes fijas. Ante esta problemática, el presente estudio propone un plan de mitigación acústica para las discotecas Capital,

Fuego, La Copa y People Café Bar, con el fin de reducir la contaminación sonora y mejorar la calidad de vida de las comunidades colindantes (Gobierno Autónomo Municipal de Sucre, 2022).

Materiales y métodos

El estudio es de tipo observacional, descriptivo y analítico, realizado en las discotecas Capital, Fuego, La Copa y People Café Bar de la ciudad de Sucre durante octubre de 2022. Los puntos de medición se seleccionaron conforme a la norma boliviana NB 62006, que establece la toma de datos en las cuatro coordenadas del predio, ubicando el sonómetro a 1,5 metros sobre el suelo y a 3,5 metros de distancia horizontal de las fachadas colindantes. Las mediciones de nivel sonoro se registraron de forma continua en intervalos de 15 minutos durante tres noches consecutivas, utilizando un sonómetro SE-402 con ponderación de frecuencia A, clase 1, que simula la respuesta del oído humano y cumple con estándares internacionales para medición acústica.

Métodos teóricos

- **Análisis documental:** Revisión exhaustiva de literatura científica, normativas y antecedentes relacionados con contaminación acústica y técnicas de mitigación en locales de ocio nocturno.
- **Método histórico-lógico:** Estudio de la evolución y contexto histórico del problema ambiental para comprender su desarrollo y fundamentar la investigación.

Métodos empíricos

- **Medición acústica:** Obtención de datos numéricos de niveles de presión sonora mediante sonometría calibrada, siguiendo los protocolos establecidos en la NB 62006 y recomendaciones internacionales para fuentes fijas. Se consideraron parámetros como LAeq,T y niveles máximos y mínimos durante los períodos de máxima actividad de las discotecas.
- **Observación científica:** Selección precisa de puntos de monitoreo basados en observación directa para garantizar representatividad y confiabilidad de los datos, además de la comparación con los límites establecidos en el Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica (RMCA).

•Trabajo de campo: Ejecución de mediciones en las cuatro coordenadas de cada establecimiento, considerando la proximidad a vecinos colindantes y vías públicas, para reflejar el impacto real del ruido emitido.

Técnicas e instrumentos

• *Sonómetro SE-402*: Instrumento de clase 1, calibrado y ubicado a alturas entre 1,2 y 1,5 m sobre el suelo, utilizado para medir niveles de ruido en 16 puntos de monitoreo con intervalos de 15 minutos, registrando valores instantáneos, máximos y mínimos.

• *GPS*: Empleado para georreferenciar con precisión los puntos de medición en campo, asegurando la reproducibilidad del estudio.

Este diseño metodológico garantiza la obtención de datos representativos y confiables para evaluar la contaminación acústica generada por las discotecas y fundamentar la propuesta de mitigación acústica.

Resultados

Las mediciones de niveles sonoros se llevaron a cabo los días 22, 23 y 30 de octubre de 2022, durante las madrugadas de viernes y sábado, en el intervalo horario comprendido entre las 00:00 y las 02:00 horas. Esta ventana temporal fue seleccionada estratégicamente para capturar el comportamiento acústico representativo en noches con actividad recreativa nocturna, permitiendo así una evaluación precisa del impacto sonoro asociado a las discotecas en diferentes días de la semana. Se eligió el mes de octubre debido a que representa un periodo de actividad de ocio moderada en la ciudad de Sucre, evitando las variaciones extremas propias de los meses de verano e invierno, cuando las dinámicas de asistencia y comportamiento acústico pueden presentar fluctuaciones significativas. Esta selección temporal contribuye a obtener datos más estables y representativos del nivel habitual de ruido generado por los centros de diversión nocturna

Tabla 1 Cronograma de medición de ruido

UBICACIÓN	FECHA	HORARIOS	PUNTOS			
			1	2	3	4
PEOPLE CAFÉ BAR	22/10/22	01:15 – 01:29	■			
PEOPLE CAFÉ BAR	22/10/22	01:32 – 01:46		■		
PEOPLE CAFÉ BAR	22/10/22	01:58 – 02: 12			■	
PEOPLE CAFÉ BAR	22/10/22	02:15 – 02: 29				■
FUEGO	23/10/22	23:50 – 0:11	■			
FUEGO	23/10/22	0:17 – 0:31		■		
FUEGO	23/10/22	0:36 – 0:50			■	
FUEGO	23/10/22	0:56 – 1:10				■
LA COPA	23/10/22	1:41 – 1:55	■			
LA COPA	23/10/22	2:00 – 2:14		■		
LA COPA	23/10/22	2:16 – 2:30			■	
LA COPA	23/10/22	2:34 – 2:48				■
CAPITAL	30/10/22	0:15 – 1:29	■			
CAPITAL	30/10/22	1:32 – 1:46		■		
CAPITAL	30/10/22	1:58 – 2:12			■	
CAPITAL	30/10/22	2:15 – 2:29				■

Evaluación de niveles de contaminación acústica según el Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica (RMCA)

Para la presente investigación se tomó como límite máximo de referencia la escala establecida por el Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica RMCA – Anexo 6 que sugiere valores estándar de emisión de ruido ambiental de 65 dB (A) de 22:00 pm a 6:00 am.

Los datos considerados, que se comparan con este criterio nacional que fijan un valor limite a la emisión de ruido ambiental, corresponde a los valores promedios obtenidos de las mediciones realizadas en las discotecas Capital, Fuego, La Copa y People Café Bar de la ciudad de Sucre.

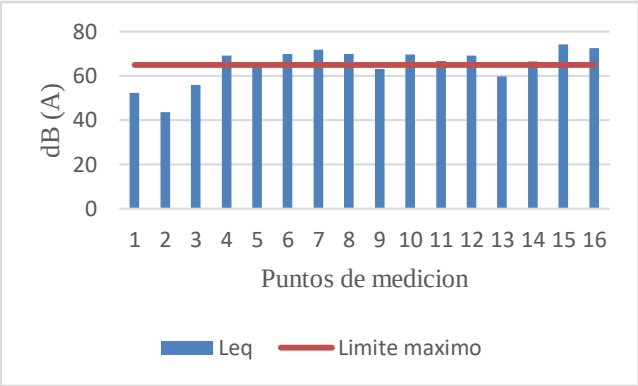
Resultados de los cuatro puntos de medición de ruido ambiental en el área de estudio

Tabla 2 Resultados de los cuatro puntos de medición de ruido ambiental

Discoteca	Puntos	límite máximo permisible	leq medición	Evaluación
PEOPLE	Punto 1	65 dB (A)	52,4dB	CUMPLE
	Punto 2	65 dB (A)	43,6	dB CUMPLE
	Punto 3	65 dB (A)	55,8	dB CUMPLE
	Punto 4	65 dB (A)	69,1dB	NO
FUEGO	Punto 5	65 dB (A)	65,5	dB NO
	Punto 6	65 dB (A)	69,9	dB NO
	Punto 7	65 dB (A)	71,7	dB NO
	Punto 8	65 dB (A)	69,9	dB NO
LA COPA	Punto 9	65 dB (A)	63,1	dB CUMPLE
	Punto 10	65 dB (A)	69,7	dB NO
	Punto 11	65 dB (A)	66,8	dB NO
	Punto 12	65 dB (A)	69,2	dB NO
CAPITAL	Punto 13	65 dB (A)	59,8	dB CUMPLE
	Punto 14	65 dB (A)	66,6	dB NO
	Punto 15	65 dB (A)	74,1dB	NO
	Punto 16	65 dB (A)	72,6	dB NO

Una vez obtenido los datos en la Tabla 2, para realizar un mejor análisis se realizó un gráfico (véase gráfico 1) que relaciona el nivel de ruido determinado por el sonómetro en cada uno de los puntos de medición de las cuatro discotecas, en el cual se identificó claramente las mediciones, así también se analizaron el nivel de ruido continuo equivalente y el límite máximo permisible según lo establecido por el Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica (RMCA) de 65 dB (A).

Gráfico 1: Cuatro puntos de monitoreo acústico



Según la tabla 2, y el grafico 1, que representa los datos de medición con respecto al límite establecido por el Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica (RMCA) de 65 dB (A), se observa que en uno de los cuatro puntos medidos de People Café Bar el nivel de ruido sobrepasa el límite máximo permisible. En la discoteca Fuego se observa que el 100% de los puntos medidos sobrepasan el valor límite de referencia del RMCA, respecto a la discoteca La Copa se observa que tres puntos medidos están por encima del límite máximo permisible, de esta forma se observa que solo un punto está dentro del parámetro que exige el reglamento. Finalmente, los datos de medición de ruido de la discoteca Capital muestran que tres de los cuatro puntos medidos sobrepasan el valor límite de referencia del RMCA.

Se compararon los promedios de medición de ruido de las discotecas Capital, Fuego, La Copa y People Café Bar, donde se observa que en uno de los cuatro puntos medidos de People Café Bar el nivel de ruido sobrepasa el nivel máximo permisible. En la discoteca Fuego se observa que el 100% de los puntos medidos sobrepasan el valor límite de referencia del RMCA, respecto a la discoteca La Copa se observa que tres puntos medidos están por encima del límite máximo permisible, de esta forma solo un punto está dentro del parámetro que exige el reglamento. Finalmente, los datos de medición de ruido de discoteca Capital muestran que tres de los cuatro puntos medidos sobrepasan el valor límite de referencia del RMCA.

Para la presente investigación se tomó como límite máximo de referencia la escala establecida por el Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica RMCA – Anexo 6 que sugiere valores estándar de emisión de ruido ambiental de 65 dB (A) de 22:00 pm a 6:00 am.

Los datos considerados, que se comparan con este criterio nacional que fijan un valor limite a la emisión de ruido ambiental, corresponde a los valores promedios obtenidos de las mediciones realizadas en las discotecas Capital, Fuego, La Copa y People Café Bar de la ciudad de Sucre.

Teniendo en cuenta los resultados de los monitoreos realizados, los antecedentes antes mencionados y siguiendo la línea de investigación se ha sugerido las siguientes actividades con el objetivo de disminuir el ruido ambiental, minimizar su impacto al ambiente y preservar la salud de los vecinos colindantes.

Tabla 3 Actividades de prevención e insonorización de las discotecas Capital, Fuego, La Copa y People Café Bar.

N°	Actividad	Descripción	Tipo de medida	Área o zona donde puede ser implementada	Responsable	Costo en bolivianos
1	Desarrollo de mejores formas de control y elaboración de las Evaluaciones de Impacto Ambiental.	Para realizar esta actividad es necesario que las autoridades sectoriales competentes consideren criterios acústicos en la E.I.A. respectivo, ya que en el emplazamiento de un local de ocio nocturno se consideran fases de actividades de construcción, por lo cual la infraestructura debe ser construida de acuerdo a lo que exige las normas internacionales y así el ruido sea menor cuando este entre en funcionamiento.	Preventiva.	Enfocado a todas las zonas de emplazamiento de locales de ocio nocturno.	Autoridades sectoriales competentes, personal de la Gobierno Municipal de Sucre.	El costo dependerá del Gobierno Municipal de Sucre.
2	Elaboración de una regulación clara sobre uso de suelo que contemple criterios acústicos.	Esta actividad se realizará en urbanizaciones futuras, de manera que se pueda ordenar adecuadamente las zonas de acuerdo a las diferentes actividades que albergan, por lo cual se puede exigir distancias razonables entre zonas sensibles y las discotecas que generan altos niveles de ruido, de tal forma que las discotecas no perturben ciertos sectores que se consideran sensibles, como es el caso de las zonas residenciales. El prudente control de uso de suelo puede ayudar a evitar problemas futuros de ruidos ocasionados por centros nocturnos de diversión.	Preventiva.	Enfocado al uso de suelo de las futuras urbanizaciones.	Autoridades sectoriales competentes, personal de la Gobierno Municipal de Sucre.	El costo dependerá de la Gobierno Municipal de Sucre.
3	Insonorización discoteca Capital.	En Capital disco lounge se insonorizará pared, techo y piso. Medida: Insonorización de la Pared La pared “este”, estará formado por una estructura de montantes de madera, fibra de lana de roca, y placas de yeso. La pared “oeste” estará formado por montantes de madera como base, fibra de lana de roca, barrera de vinilo y placas de yeso. La pared “norte” estará formado por una estructura de montantes de madera, fibra de lana de roca, y placas de yeso. La pared “sur” estará conformada por una estructura de montantes de madera, fibra de lana de roca, barrera de vinilo y placas de yeso. Medida: Insonorización de techo El techo acústico estará formado por una estructura de montantes de madera, canal metálico, fibra de lana de roca, barrera de vinilo y placas de yeso. Medida: Insonorización de la puerta Las puertas no se insonorizarán, porque ya se encuentran insonorizadas acústicamente. Medida: Insonorización del piso El piso acústico estará insonorizado por una estructura de montantes de madera, flotadores de suelo, fibra de lana de roca, barrera de vinilo y contrapiso.	Correctiva.	Enfocado a la discoteca Capital.	Propietario y/o representante legal de la discoteca Capital.	229.272,68

N°	Actividad	Descripción	Tipo de medida	Área o zona donde puede ser implementada	Responsable	Costo en bolivianos
4	Insonorización discoteca Fuego.	Medida: Insonorización de pared Para la pared “este” se propone implementar montantes de madera, caucho aislante y placas de yeso. En la pared “oeste” se implementará una estructura de montantes de madera como base, caucho aislante y placas de yeso. La pared “norte” estará formada por montantes de madera, caucho aislante y placas de yeso. En la pared “sur” se implementará una estructura de montantes de madera, caucho aislante, barrera de vinilo y placas de yeso. Medida: Insonorización de techo El techo acústico estará formado por una estructura de montantes de madera, canal metálico, caucho aislante, barrera de vinilo y placas de yeso. Medida: Insonorización de la puerta La puerta estará insonorizada con una cortina aislante de color oscuro, para mejorar la insonorización acústica. Medida: Insonorización del piso El piso acústico estará insonorizado por una estructura de montantes de madera, flotadores de suelo, caucho aislante, barrera de vinilo y contrapiso.	Correctiva.	Enfocado a la discoteca Fuego.	Propietario y/o representante legal de la discoteca Fuego.	67.800,99
5	Insonorización discoteca La Copa.	Medida: Insonorización de pared La pared “este” estará formada por una estructura de montantes de madera como base, fibra de lana de roca y placas de yeso. La pared “oeste” estará formada por una estructura de montantes de madera, fibra de lana de roca, barrera de vinilo y placas de yeso. La pared “norte” ya se encuentra insonorizada, no se insonorizará. En la pared “sur” se implementará varias cortinas acústicas en toda la pared, ya que la infraestructura original presenta puertas y ventanas amplias en dicha sección. Medida: Insonorización de techo Medida: Insonorización de la puerta Medida: Insonorización del piso	Correctiva.	Enfocado a la discoteca La Copa.	Propietario y/o representante legal de la discoteca La Copa.	243.541,58
6	Insonorización People Café Bar.	Medida: Insonorización de Pared Para la pared “este” se implementará montantes de madera, caucho aislante y placas de yeso de 12,5mm espesor. En la pared “oeste” se implementará una estructura de montantes de madera como base, caucho aislante y placas de yeso. En la pared “norte” se implementará montantes de madera, caucho aislante, barrera de vinilo, y placas de yeso. En la pared “sur” se implementará una estructura de montantes de madera, caucho aislante y placas de yeso. Medida: Insonorización de techo Medida: Insonorización de la puerta Medida: Insonorización del piso	Correctiva.	Enfocado a People Café Bar.	Propietario y/o representante legal de People Café Bar.	91.100,19

Discusión

El presente estudio tuvo como objetivo desarrollar una propuesta integral de mitigación de la contaminación acústica generada por las discotecas Capital, Fuego, La Copa y People Café Bar en la ciudad de Sucre. Los resultados evidencian que, de manera persistente, los niveles sonoros superan el límite máximo permisible de 65 dB(A) establecido por el Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica (RMCA), especialmente durante las noches de viernes y sábado, afectando significativamente la calidad de vida de los residentes colindantes.

La persistencia de niveles elevados de ruido nocturno confirma la necesidad urgente de implementar un plan de mitigación que contemple medidas técnicas y administrativas para reducir la emisión sonora. El plan propuesto se fundamenta en la prevención y corrección de los impactos negativos mediante acciones específicas que incluyen la insonorización estructural de los recintos y la regulación del uso del suelo con criterios acústicos claros, aspectos que requieren la colaboración activa de la Alcaldía Municipal y los propietarios de los establecimientos.

Desde la perspectiva preventiva, se recomienda fortalecer la inclusión de la contaminación acústica en las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) y desarrollar normativas municipales que delimiten zonas específicas para actividades recreativas ruidosas, evitando la dispersión de discotecas en áreas residenciales y sensibles. Esta regulación es fundamental para garantizar un ordenamiento territorial que minimice la exposición de la población a niveles nocivos de ruido.

En cuanto a las medidas correctivas, la propuesta contempla la insonorización integral de los locales, con énfasis en paredes, techos, puertas y pisos, adaptada a las características particulares de cada discoteca.

Los resultados preliminares indican que la implementación de estas medidas podría reducir los niveles de ruido en un rango de 62,9 dB a 72,5 dB, logrando cumplir con los límites establecidos por el RMCA y mitigando el estrés auditivo en los vecinos.

La colaboración de los dueños de las discotecas es esencial para el éxito del plan, ya que la inversión en insonorización no solo contribuye a la salud pública, sino que también asegura el cumplimiento normativo y la sostenibilidad operativa de estos centros de ocio. Además, la coordinación con las autoridades municipales permitirá establecer mecanismos de control y seguimiento que garanticen la efectividad de las medidas implementadas.

Finalmente, este estudio subraya la importancia de abordar la contaminación acústica desde un enfoque multidisciplinario que integre aspectos técnicos, normativos y sociales, promoviendo un equilibrio entre el desarrollo económico de la ciudad y la protección de la salud y el bienestar de sus habitantes.

Conclusiones

En este estudio se consolidaron las bases teóricas relacionadas con la mitigación del ruido ambiental en discotecas, mediante una exhaustiva revisión bibliográfica y trabajo de campo en las instalaciones de Capital, La Copa, Fuego y People Café Bar en la ciudad de Sucre. Se lograron medir, representar y evaluar los niveles de presión sonora en estos establecimientos, evidenciando que el 68,7% de los puntos monitoreados superan los límites máximos permisibles establecidos por el Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica (RMCA), siendo el sábado el día con mayor emisión acústica.

Los niveles equivalentes de presión sonora (LAeq) registrados oscilaron entre 43,6 y 74,1 dB(A), destacando que la discoteca Fuego presentó valores superiores al límite normativo en todos los puntos de medición.

Estos resultados confirman la presencia significativa de contaminación acústica que afecta la calidad de vida de los vecinos colindantes.

Se diseñaron y propusieron sistemas de insonorización integrales para cada discoteca, abarcando paredes, puertas, techos y pisos, que pueden implementarse sin comprometer la estructura original de los locales. El análisis técnico reveló que Capital obtuvo la mayor reducción de ruido, con una disminución estimada de 72,5 dB(A), seguida por La Copa con 67,9 dB(A). Asimismo, Fuego y People Café Bar demostraron, mediante la instalación de materiales aislantes acústicos, una capacidad de reducción sonora que supera los requerimientos del RMCA, evidenciando la eficacia de la insonorización para mitigar las emisiones acústicas.

Desde el punto de vista económico, la propuesta de insonorización para La Copa implicó el mayor costo, seguido por Capital y People Café Bar, mientras que Fuego presentó el menor costo. Esta variación está directamente relacionada con la superficie y características arquitectónicas de cada establecimiento. En conjunto, las propuestas resultan financieramente viables y representan una solución efectiva para la reducción de la contaminación acústica en estos centros de ocio nocturno.

Estos hallazgos sustentan la necesidad de implementar medidas técnicas y regulatorias que contribuyan a la preservación de la salud pública y el bienestar de las comunidades afectadas por la contaminación sonora en entornos urbanos.

Referencias

CALDERON, W. G. (2017). *Uleam*. Obtenido de Uleam:
<https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/4332/1/ULEAM-POSG-GA-0066.pdf>

Garcia, C. S. (2023). Plataforma ambiental integral . Obtenido de Plataforma ambiental integral:

<https://www.bajomisombreroverde.com/la-importancia-tecnica-y-legal-de-los-monitoreos-de-iluminacion-y-sonido/>

Griffin, M. J. (2023). Consejo de salud ocupacional . Obtenido de Consejo de salud ocupacional:

https://www.cso.go.cr/temas_de_interes/higiene/agentes/fisico/00_vibraciones.pdf

Griffin, M. J. (2023). Consejo de salud ocupacional . Obtenido de Consejo de salud ocupacional:

https://www.cso.go.cr/temas_de_interes/higiene/agentes/fisico/00_vibraciones.pdf

Lexis. (septiembre de 2004). Sistema Integrado de Legislación Ecuatoriana. Obtenido de Sistema Integrado de Legislación Ecuatoriana:

<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-PREVENCIÓN-Y-CONTROL-DE-LA-CONTAMINACIÓN-AMBIENTAL.pdf>

Londoño, C. A. (2011). Revista científica universidad de Medellin . Obtenido de Revista científica universidad de Medellin :
<https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/336>

Mallea, R. A. (2011). Universidad Mayor de San Andres. Recuperado el 18 de octubre de 2023, de Universidad Mayor de San Andres:
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/13243/T3490.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mora, P. C. (2018). scielo. Obtenido de scielo :
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422018000100006

- Parra, A. M. (18 de octubre de 2018). *Universidad Andres Bello*. Obtenido de Universidad Andres Bello: https://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/7102/a123197_Ardila_A_Propuesta_de_acondicionamiento_acustico_de_2018_tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sabaté, M. V. (30 de junio de 2022). *quiron prevencion*. Obtenido de quiron prevención: <https://www.quironprevencion.com/blogs/es/prevenidos/danos-salud-exposicion-vibraciones-mecanicas>
- Semarnat. (8 de diciembre de 2008). *Compendio estadísticas ambientales*. Obtenido de Compendio estadísticas ambientales: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/bol179630.pdf>
- Sommerhoff, J. (2010). *UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE*. Obtenido de UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE: <https://docplayer.es/16715873-Universidad-austral-de-chile-facultad-de-ciencias-de-la-ingenieria-escuela-de-ingenieria-acustica.html>
- Sur, C. d. (20 de enero de 2020). *Correo del Sur*. Obtenido de https://correodelsur.com/local/20200120_la-s-dos-caras-que-muestra-la-avenida-de-las-americas.html
- VÁSQUEZ., L. D. (2014). *Universidad Nacional de San Martín*. Obtenido de Universidad Nacional de San Martín : <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/234/1/6054013.pdf>

Evaluación del cultivo estandarizado de *Raphanus sativus* cv. Cherry Belle (rabanito) para evidenciar su efectividad como bioindicador de la contaminación atmosférica en la ciudad de Sucre

Evaluation of the standardized cultivation of *Raphanus sativus* cv. Cherry Belle (radish) to demonstrate its effectiveness as a bioindicator of air pollution in the city of Sucre

CRUZ – Maria ^{1*} & ZABALLA– Mauricio²

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

Recibido diciembre, 2023; Aceptado diciembre, 2024

Resumen

La contaminación atmosférica en la ciudad de Sucre, es una preocupación creciente debido al incremento del tráfico vehicular y las diferentes actividades. Este estudio evaluó la calidad del aire usando el rábanito (*Raphanus sativus* cv. Cherry Belle) como bioindicador, por su sensibilidad a los contaminantes, reflejados en su peso, brillo foliar y necrosis. Se siguió un protocolo riguroso desde la preparación del sustrato hasta la exposición de las plantas en puntos de biomonitorio. La metodología se validó comparando métodos físico-químicos, químicos de la Red MoniCA con el uso del bioindicador (rabanito).

En cuanto al análisis estadístico no paramétricos, el test de Kruskal-Wallis y la correlación de Spearman confirmaron la efectividad del rábanito como bioindicador, complementando los métodos tradicionales. Las evaluaciones mostraron que el rábanito detecta cambios en la calidad del aire, reflejando una relación entre su salud y los niveles de contaminantes. En áreas de alto tráfico, las plantas mostraron mayor estrés, mientras que en áreas de bajo tráfico, el crecimiento fue más uniforme. El análisis de Componentes Principales (PCA) indicó que el dióxido de nitrógeno y el ozono troposférico influyen diferentes aspectos del crecimiento del rábanito. Los hallazgos subrayan los efectos de los contaminantes del aire en Sucre.

Palabras Clave

Biomonitorio, alto tráfico vehicular, bajo tráfico vehicular, Sucre

Abstract

This study addresses the growing concern of atmospheric pollution in the city of Sucre, driven by increased vehicular traffic and various urban activities. Air quality was evaluated using radish (*Raphanus sativus* cv. Cherry Belle) as a bioindicator due to its sensitivity to pollutants, which was reflected in parameters such as biomass, leaf glossiness, and necrosis. A rigorous protocol was followed, from substrate preparation to plant exposure at biomonitoring sites. The methodology was validated by comparing traditional physicochemical methods from the MoniCA Air Quality Network with the bioindicator approach.

Non-parametric statistical analyses, including the Kruskal-Wallis test and Spearman correlation, confirmed the effectiveness of radish as a bioindicator, complementing conventional monitoring techniques. Results demonstrated that radish plants effectively detect variations in air quality, showing a clear relationship between plant health and pollutant concentrations. Plants exposed in high-traffic areas exhibited greater stress symptoms, whereas those in low-traffic zones showed more uniform growth. Principal Component Analysis (PCA) revealed that nitrogen dioxide and tropospheric ozone differentially influenced radish growth parameters. These findings underscore the impact of air pollutants in Sucre and highlight the utility of radish as a cost-effective, sensitive bioindicator for urban air quality assessment.

Keywords:

Key words: *Raphanus sativus* cv. Cherry Belle, biomonitoring, high vehicular traffic, low vehicular traffic, Sucre.

Citación: Cruz M. Evaluación del cultivo estandarizado de *Raphanus sativus* cv. Cherry Belle (rabanito) para evidenciar su efectividad como bioindicador de la contaminación atmosférica en la ciudad de Sucre

Revista Ingeniería Sostenible Ambiental 2024,1(2),51-114

Introducción

Sucre, la capital constitucional de Bolivia, se enfrenta un problema de contaminación atmosférica derivado principalmente al significativo incremento del parque automotor y otras actividades urbanas en las últimas décadas. Aunque la Red MoniCA realiza un monitoreo continuo de la calidad del aire en puntos estratégicos de la ciudad, el rápido crecimiento urbano ha generado nuevas áreas de alto tráfico vehicular que carecen de una adecuada cobertura de monitoreo ambiental.

En respuesta a esta problemática, se propone el uso de bioindicadores como *Raphanus sativus* cv. Cherry Belle (rabanito), es reconocida por su sensibilidad a diversos contaminantes atmosféricos como el ozono y el dióxido de azufre. La elección de este bioindicador se fundamenta en su capacidad para reflejar los efectos de la contaminación a través de cambios morfológicos y fisiológicos detectables, los cuales pueden servir como indicadores tempranos de la calidad del aire en ambientes urbanos. Este enfoque no solo busca complementar el monitoreo convencional realizado por la Red MoniCA, sino también proporcionar una herramienta efectiva y económica para evaluar la contaminación atmosférica en áreas específicas de Sucre donde el monitoreo tradicional puede ser limitado o insuficiente.

La investigación tiene como objetivo principal estandarizar el cultivo de *Raphanus sativus* en condiciones locales y validar su eficacia como bioindicador (rabanito) mediante la comparación con métodos tradicionales (físico-químicos, químicos) de medición de contaminantes. Se plantea la hipótesis de que las plantas de rábano cultivadas en áreas con alto y bajo tráfico vehicular exhibirán diferencias morfológicas significativas, las cuales estarán directamente relacionadas con la cantidad y tipo de contaminantes presentes en el ambiente.

Estos cambios morfológicos podrían incluir desde el peso, la reducción del tamaño del hipocotilo y las hojas hasta la aparición de brillo foliar y necrosis foliar, dependiendo de la intensidad y duración de la exposición a los contaminantes.

Además de contribuir al conocimiento científico sobre la calidad del aire en Sucre, este estudio pretende ofrecer información relevante para la gestión ambiental local, proporcionando datos específicos sobre la distribución espacial y temporal de la contaminación atmosférica en la ciudad

Materiales y métodos

a) Materiales

Semillas: “*Raphanus sativus* L., también conocida como rábano, rabanito, nabón, pertenece a la familia Brassicaceae., la variedad más utilizada para estudios sobre la respuesta de estrés ambiental es decir efectos de los diferentes contaminantes atmosféricos y sus diferentes combinaciones es *Raphanus sativus* L. cv. Cherry Belle. Sus semillas son obovales y poco comprimidas de 3,5 a 4 mm de largo por unos 2,5 mm de ancho y 2 mm de espesor, con tegumento castaño claro, finamente reticulado. Su raíz es cónica o engrosada”. (UMSA, Bioindicación de la calidad de aire).

Preparación de macetas: Para la elaboración de las macetas se utilizaron:

- 35 macetas de un volumen de 1500 ml, con un diámetro de 16 cm
- 35 cuerdas de 1,5 m de largo, 1,5 cm y 1 cm de diámetro

Elaboración de la tierra de cultivo:

Para esta investigación, se utilizó un sustrato estandarizado compuesto por 45% de arena, 22% de tierra negra, 5.5% de bosta de vaca, 5.5% de turba vegetal, 5.5% de cascarilla de arroz, 5.5% de limo, 4.5% de humus y 5% de arcilla. Esta mezcla se preparó dentro del invernadero, libre de plagas, y combina material que mejoran la textura, retención de agua, drenaje, aireación y aporte de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

Cada componente, como la tierra negra, la cascarilla de arroz, la bosta de vaca, el limo, la arena, el humus, la turba vegetal y la arcilla, cumple funciones específicas que aseguran un sustrato adecuado para el desarrollo saludable de las plántulas.

Siembra de semillas: Se realizó una prueba de germinación previa al cultivo, ya que se obtuvieron semillas con certificación y semillas a granel de la variedad de *Raphanus sativus* L. cv. Cherry Belle.

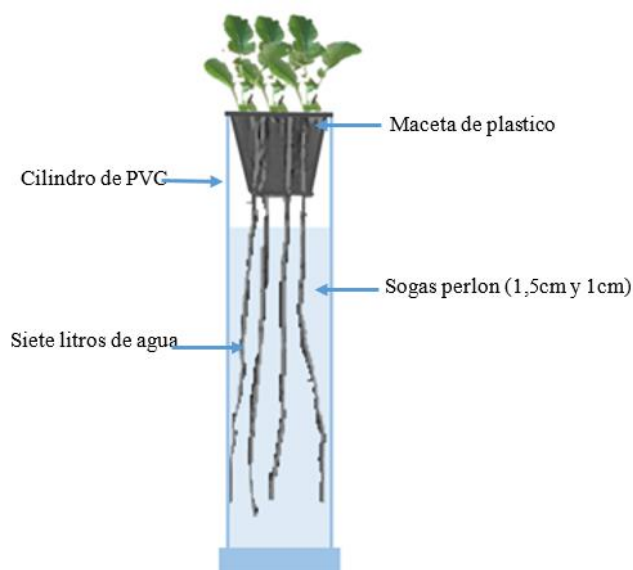
Durante el proceso de germinación se usaron 210 semillas orgánicas certificadas de *Raphanus sativus* L. cv. Cherry Belle.

Crecimiento en invernadero: Se utilizaron 3 bañadores, 3 rejillas de madera para cada exposición, agua con sistemas de riego semiautomático.

Sistemas de riego semiautomático: Se usaron 30 soportes metálicos de los tubos, 10 soportes metálicos de techo y 30 tubos de PVC.

Exposición de *Raphanus sativus*: 10 m² de red de semisombra que genera 80% de sombra para hacer 10 techos, 10 soportes de metal para sujetar el techo y agua.

Figura 1: Esquema de riego semiautomático de las macetas con sogas tipo perlón durante la exposición.



Análisis en laboratorio: Tablas para toma de datos, lápiz, guantes, cámara digital, estilete, papel absorbente, sobres de papel delgado, Balanza ADAM con precisión de 0.001 gr y una estufa para el secado.

b) Métodos

Para el estudio de biomonitordeo, se definieron puntos de control y exposición. El invernadero del INIAF en Sucre, con bajas concentraciones de contaminantes, se seleccionó como punto de control. Los puntos de exposición incluyeron 10 ubicaciones en áreas de alto y bajo tráfico vehicular en Sucre, algunos también utilizados por la Red MoniCA.

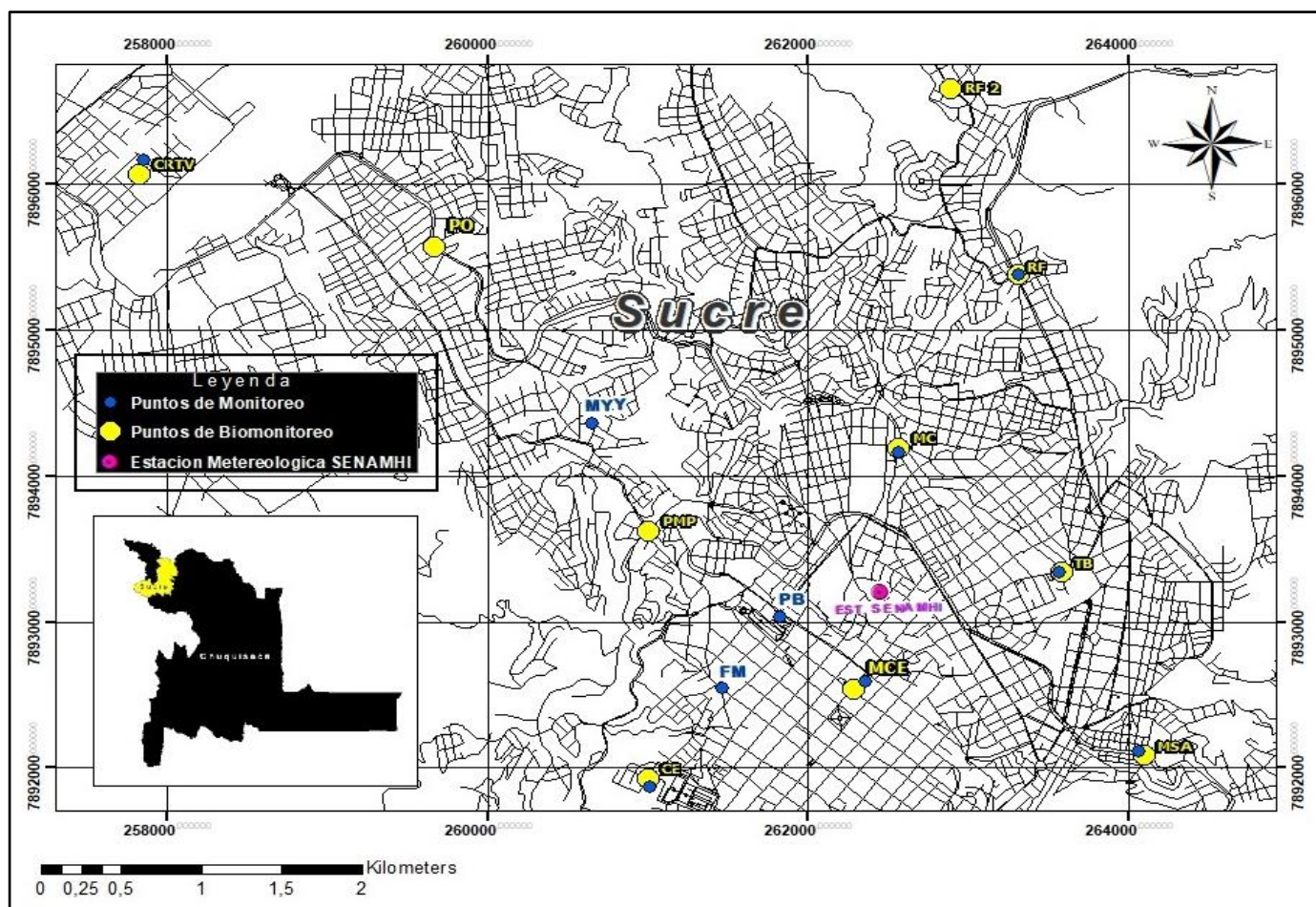
Figura 2: Puntos de biomonitoreo en la ciudad de Sucre.

Tabla 1: Estaciones de biomonitoreo en la ciudad de Sucre

Código	Zona	Ubicación	Parámetros Medidos	Clasificación por tipo de zona	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m)
RF2	Barrio Cessa	Sobre la avenida principal cerca al Centro de Salud	Ninguno	Alto tráfico Vehicular	Latitud	19° 0'32.69" S	2921
PMP	Parque Multipropósito	Calle Colon, balcón de la biblioteca de la Facultad de Medicina	PM ₁₀	Alto tráfico Vehicular	Longitud	65°15'9.00" O	2760
					Latitud	19° 2'10.44" S	
TB	Terminal de Buses	Avenida Ostria Gutiérrez, balcón de la Secretaria Departamental de Medio Ambiente y Madre Tierra	PM ₁₀	Alto tráfico Vehicular	Longitud	65°16'14.77" O	2835
					Latitud	19°02'20.79" S	
RF	Rotonda Fancesa	Rotonda Fancesa poste colindante (E)	NO ₂ y O ₃	Alto tráfico Vehicular	Longitud	65°14'47.10" O	2906
					Latitud	19°01'14.44" S	
MSA	San Antonio	Av. Martin Cárdenas cerca al mercado	NO ₂ y O ₃	Alto tráfico Vehicular	Longitud	65°14'55.16" O	2853
					Latitud	19°02'01.43" S	
MC	Mercado Campesino	Plazuela San Juanillo	NO ₂ y O ₃	Alto tráfico Vehicular	Longitud	65°14'41.22" O	2798
					Latitud	19°01'52.46" S	
MCE	Mercado Central	Plaza San Francisco	NO ₂ y O ₃	Alto tráfico Vehicular	Longitud	65°15'21.21" O	2790
					Latitud	19°02'45.69" S	
CE	Max Toledo (Cementerio)	Plaza posterior del cementerio general	NO ₂ y O ₃	Bajo tráfico Vehicular	Longitud	65°15'30.67" O	2801
					Latitud	19°03'06.06" S	
PO	Piscina Olímpica	Avenida Juana Azurduy cerca a la piscina Olímpica	Ninguno	Alto tráfico Vehicular	Longitud	65°16'15.61" O	2898
					Latitud	19° 1'6.45" S	
CRTV	Centro de Revisión Técnica Vehicular	Barrio Israel Zona Karapunku s/n	NO ₂ y O ₃	Bajo tráfico Vehicular	Longitud	65°16'59.71" O	2915
					Latitud	19°00'48.18" S	

Tabla 1: Estación de control

Código	Zona	Ubicación	Parámetros Medidos	Clasificación por tipo de zona	Coordenadas UTM		Altitud(m)
INV	Ckara punku	Ckara punku s/n	Ninguno	Bajo tráfico Vehicular casi nulo.	Latitud	19° 1'21.68" S	2984
					Longitud	65°17'38.27" O	

Cultivo de *Raphanus sativus* cv. Cherry Belle

El sustrato utilizado fue una mezcla homogénea de arena (45%), tierra negra (22%), bosta de vaca (5.5%), turba vegetal (5.5%), cascarilla de arroz (5.5%), limo (5.5%), humus (4.5%) y arcilla (5%). Esta mezcla mejoró la textura, retención de agua y nutrientes del suelo. Las macetas, perforadas en la base y equipadas con cuerdas de absorción para riego semiautomático, se llenaron con este sustrato.

Determinación de biomasa de rábano

Las plantas de rábano se extrajeron de las macetas, se lavaron y se secaron con papel absorbente. Se separaron hojas e hipocótilo y se pesaron en fresco. Para determinar el peso seco, las muestras se secaron a 80°C durante 48 horas, se colocaron en un desecador por 1 hora y se pesaron nuevamente.

Análisis del daño foliar

Se utilizó el software IMGEJ para determinar el porcentaje de daño foliar (severidad) en las plantas de rábano. Se evaluaron hojas con brillo foliar y necrosis, considerando la escala de la hoja, el área de influencia, el área total y el área sin daño. Este procedimiento permitió calcular el porcentaje de daño foliar en las plántulas.

Procesamiento de datos de la red MoniCA

Se extrajeron datos de la Red MoniCA para calcular el Índice de Calidad del Aire (ICA) según la Norma Boliviana NB 62018. El ICA se interpretó con el código de colores y grados de riesgo para la salud establecidos en la norma.

Análisis estadístico

Se aplicaron tres métodos estadísticos para asegurar un análisis riguroso de los datos:

1. Prueba de Kruskal-Wallis: Determina diferencias significativas entre tres o más grupos independientes, utilizando rangos de datos debido a la falta de normalidad y desigualdad de varianzas.

2. Correlación de Spearman: Evalúa la relación entre dos variables usando rangos, siendo robusta ante valores atípicos y útil para datos no lineales o ordinales.

3. Análisis de Componentes Principales (PCA): Reduce la dimensionalidad de los datos y descubre patrones ocultos, convirtiendo variables correlacionadas en componentes principales no correlacionados, ayudando a visualizar datos multidimensionales y entender la estructura subyacente.

El análisis se realizó en RStudio, seleccionado por su interfaz intuitiva y capacidades analíticas completas. Estos métodos aseguraron un análisis riguroso y adecuado de los datos de biomonitorio y la Red MoniCA, permitiendo evaluaciones precisas sobre la calidad del aire y el estado de las plantas de rábano expuestas.

Resultados

Los efectos de los contaminantes atmosféricos sobre las variables morfológicas del *Raphanus sativus* (rabanito) variaron significativamente entre los diferentes sitios de biomonitorio. Se evaluaron cuatro variables: longitud del hipocótilo, desarrollo foliar, presencia de necrosis y brillo de las hojas.

El análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis indicó diferencias estadísticamente significativas entre los grupos para todas las variables analizadas ($p < 0.05$). Estas diferencias fueron confirmadas mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, ajustada con la corrección de Bonferroni. Las correlaciones de Spearman revelaron asociaciones significativas entre los niveles de ozono troposférico (O_3) y dióxido de nitrógeno (NO_2) y las respuestas fisiológicas de las plantas.

Hipocótilo: Se observaron correlaciones significativas entre el ozono troposférico y la longitud del hipocótilo. En los tratamientos CRTV, MCE y PMP, se detectaron correlaciones positivas, mientras que en PMP y PO fueron negativas, lo que sugiere que concentraciones elevadas de O_3 pueden inhibir el desarrollo del hipocótilo.

En los tratamientos CE, MC, MSA, RF y RF2, el ozono no mostró efectos estadísticamente significativos.

Hojas: El desarrollo foliar presentó correlaciones significativas con el NO_2 . En los tratamientos PMP y PO, estas fueron positivas, mientras que en MC y MSA fueron negativas. Estos resultados evidencian una sensibilidad diferencial al NO_2 según el sitio de exposición.

Necrosis: La incidencia de necrosis foliar estuvo significativamente correlacionada con los niveles de O_3 en los tratamientos RF, MC y PO. En MSA, la asociación fue mínima, y en los tratamientos CRTV, CE, MCE, PMP y RF2 no se observó una influencia clara del ozono.

Brillo foliar: El NO_2 mostró correlaciones significativas con la variación en el brillo foliar en CE, CRTV, MC, PMP y RF2. En contraste, en MCE, MSA, PO y RF, no se detectaron efectos estadísticamente significativos.

Análisis de Componentes Principales (PCA) explicó la mayor parte de la variabilidad observada en las respuestas morfológicas. Este análisis evidenció una asociación predominante del ozono con la necrosis y el hipocótilo, mientras que el NO_2 se relacionó principalmente con el desarrollo y brillo foliar. Estas asociaciones permiten inferir rutas diferenciadas de daño inducido por contaminantes específicos.

La exposición de *Raphanus sativus* a contaminantes atmosféricos, especialmente en zonas de alto tráfico vehicular, se asoció con una reducción en el crecimiento del hipocótilo, alteraciones morfológicas en las hojas, necrosis tisular y variaciones en el brillo foliar. Estos efectos son indicativos de estrés oxidativo inducido por la exposición a O_3 y NO_2 . Los datos de la Red MoniCA, empleados para calcular el Índice de Calidad del Aire (ICA), respaldaron estas observaciones, correlacionando las alteraciones morfológicas con las concentraciones de estos contaminantes.

Las correlaciones significativas, junto con los patrones emergentes del PCA, proporcionan evidencia robusta del impacto negativo de la contaminación del aire sobre parámetros morfológicos clave en el rabanito, consolidando su uso como bioindicador sensible en programas de biomonitoreo atmosférico.

Discusión

Con base en las características fisicoquímicas adecuadas del sustrato, se establecieron lotes de *Raphanus sativus* (rabanito) en distintos puntos de biomonitoreo con contrastantes niveles de exposición a contaminación atmosférica, particularmente asociados al tráfico vehicular. Esta variable se consideró clave debido a su reconocida contribución a las emisiones de contaminantes como el dióxido de nitrógeno (NO_2), el ozono troposférico (O_3) y las partículas en suspensión (PM_{10}), todos ellos de alta prevalencia en zonas urbanas densamente transitadas.

Se prestó atención especial a áreas de alta congestión vehicular, incluyendo avenidas principales y zonas industriales cercanas a FANCESA, identificadas como focos emisores críticos. Además, se incorporaron factores meteorológicos —como la precipitación, dirección y velocidad del viento— así como la topografía local, debido a su influencia en la dispersión, transporte y acumulación de contaminantes. En ciertas zonas con baja ventilación atmosférica, se observó una mayor acumulación de contaminantes, lo cual incrementó la sensibilidad de los bioindicadores utilizados.

Durante el período de exposición, se monitorearon los niveles de NO_2 y O_3 troposférico en cada punto de muestreo, integrando la información mediante el Índice de Calidad del Aire (ICA). Los resultados obtenidos evidencian una relación directa y significativa entre la exposición del rabanito a los contaminantes atmosféricos y las respuestas fisiológicas y morfológicas observadas.

Los datos mostraron una disminución en el crecimiento del hipocótilo en plantas expuestas a concentraciones elevadas de O_3 , lo que constituye un indicador temprano y sensible del estrés oxidativo inducido por este contaminante.

El ozono, como potente agente oxidante, puede dañar tejidos meristemáticos y afectar directamente procesos fundamentales como la división celular y la fotosíntesis.

De manera complementaria, se identificaron alteraciones morfológicas notorias en las hojas, incluyendo variaciones en tamaño, forma y coloración, particularmente asociadas a la exposición a NO₂. Estas modificaciones pueden interpretarse como respuestas adaptativas o mecanismos de defensa frente al estrés ambiental, como el cierre estomático o la reconfiguración de estructuras foliares para minimizar el daño.

La presencia de necrosis, observada principalmente en sitios con alta concentración de ozono, indica daño tisular severo derivado de procesos oxidativos que afectan la integridad celular. Este tipo de daño compromete la capacidad fotosintética y metabólica de la planta, disminuyendo su viabilidad y productividad.

En cuanto al brillo foliar, se detectaron variaciones atribuibles tanto a la acumulación de contaminantes particulados en la superficie foliar como a modificaciones en la estructura de la cutícula. Un brillo reducido puede reflejar disfunciones en la transpiración, la termorregulación y el intercambio gaseoso, funciones críticas para el mantenimiento de homeostasis vegetal.

El análisis de correlación de Spearman confirmó asociaciones positivas entre la exposición al O₃ y la reducción del hipocótilo, así como con la necrosis foliar, sugiriendo un impacto directo del ozono en los tejidos vegetales. Asimismo, se identificaron correlaciones positivas entre la exposición al NO₂ y las alteraciones foliares, apoyando la hipótesis de una respuesta específica frente a este contaminante.

El Análisis de Componentes Principales (PCA) reforzó estos hallazgos, mostrando que las variables morfológicas asociadas al hipocótilo y la necrosis se agrupan fuertemente con la presencia de O₃, mientras que las variables relacionadas con el desarrollo foliar y el brillo se asociaron predominantemente con el NO₂.

Este patrón multivariado sugiere rutas de respuesta diferenciadas dependiendo del tipo y nivel de contaminante, y consolida el uso del rabanito como un bioindicador efectivo y económico para programas de monitoreo ambiental urbano.

Sin embargo, una de las principales limitaciones del estudio fue la ausencia de análisis químicos cuantitativos en los tejidos vegetales. La inclusión de espectroscopía o cromatografía, por ejemplo, habría permitido identificar y cuantificar la acumulación de contaminantes específicos en hojas y tallos, fortaleciendo la interpretación de los efectos observados. Esta limitación respondió a restricciones logísticas y de tiempo en el presente estudio, pero su incorporación en futuras investigaciones es altamente recomendable para profundizar en la comprensión del mecanismo de acción de los contaminantes atmosféricos en plantas bioindicadoras.

Conclusiones

Los objetivos del estudio fueron alcanzados, proporcionando valiosa información sobre la calidad del aire en Sucre y validando al rabanito (*Raphanus sativus* cv. Cherry Belle) como un bioindicador confiable y efectivo. Se estandarizó el cultivo de rabanito en Sucre, desarrollando un protocolo desde la preparación del sustrato hasta el cultivo antes de la exposición, asegurando consistencia y reproducibilidad en su uso como bioindicador de la calidad del aire.

La metodología, que comparó métodos físico-químicos y químicos medidos por equipos de monitoreo de Red MoniCA con el uso del rabanito, fue validada mediante análisis estadísticos no paramétricos. Esto confirmó la efectividad del rabanito como bioindicador y su capacidad para complementar los métodos analíticos, al demostrar ser sensible a los contaminantes atmosféricos, reflejando cambios en crecimiento, salud, y signos de estrés o daño.

Se observaron impactos morfológicos en el rabanito, como cambios en peso, brillo foliar y necrosis, correlacionados con niveles de ozono troposférico y dióxido de nitrógeno. El análisis de Componentes Principales (PCA) indicó que el hipocótilo y la necrosis están más relacionados con el ozono, mientras que las hojas y el brillo foliar están influenciados por el dióxido de nitrógeno. Los métodos estadísticos confirmaron la significancia de estos cambios, subrayando la sensibilidad del rabanito como bioindicador, permitiendo una evaluación precisa de la contaminación atmosférica y sus efectos en Sucre.

Referencias

- B.A. Marker, A.M. Braune and H.G. Zechmeister; Biomonitoring and bioindicators, principales conceptos y aplicaciones, Volumen 6.
- Bernd Markert y Simone Wünschmann Uso de bioindicadores y biomonitores de organismos para observar la influencia de sustancias químicas en el medio ambiente, 2012.
- Bracho Javier, Pierre Francis, Quiroz Ana, Caracterización de componentes de sustratos locales para la producción de plántulas de hortalizas en el estado de Lara, Venezuela, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), 2009
- Calidad del aire – Índice de contaminación atmosférica diaria, Anteproyecto de la Norma Boliviana NB 62018, Disponible en: IBNORCA, Consultado en: octubre, 2, 2022.
- Ferrel Meneses, Limbert Elmer y JACINTO E., Napoleón. Valoración económica de la mitigación de la Contaminación Atmosférica en la Localidad de Vinto - Oruro. *Rev. Met. UTO* [online]. 2005, n.26, pp. 42-48. ISSN 2078-5593.
- García, S. I., & Zavatti, J. R. (2023). Calidad de aire y salud. *Revista de Salud Ambiental*, 24(2), 282-283.
- Hartinger, S. M., Palmeiro-Silva, Y. K., Llerena-Cayo, C., Blanco-Villafuerte, L., Escobar, L. E., Diaz, A., ... & Romanello, M. El informe de 2023 de Lancet Countdown Latinoamérica sobre salud y cambio climático: la necesidad de un desarrollo resiliente al clima centrado en la salud.
- Jaïro , Philippe Laval-Gilly, Michel Henryon et Dominique; Monitoreo biológico de la calidad del aire
- Nali C., Balducci E., Frati L., Paoli L, Loppi S. et Lorenzini G; Biomonitoring integrado de la calidad del aire con plantas y líquenes: Un estudio de caso sobre el ozono ambiental del centro de Italia.
- Oller Cruz Oscar Javier, Empleo de bioindicadores para determinar la calidad del aire en la ciudad de Tarija en puntos de muestreo de red MoniCA, 2017.
- Palacios Jaimes , M. L., Ocaña Servin , H. L., García Argueta , I., Hernández Sánchez , M., & Camacho Beiza , I. R. (2024). Cambio Climático y Salud Respiratoria. Revisión Sistemática de la Literatura. *Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano* , 6(1), 1452–1469. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v6i1.535>
- Pell E.J., Winner W.E., Vinten Johasen C. et Monney H.A.; Respuesta del rábano a múltiples estrés y respuestas fisiológicas y de crecimiento a los cambios en el ozono y el nitrógeno, Vol 115, 1990.
- Raphanus Sativus cv Cherry belle (rabanito), Disponible en :http://www7.uc.cl/sw_educ/hort0498/HTML/p1394.html, Consultado diciembre, 15, 2020
- Ros, Á. L., Ugalde, S. A., Bajo, Á. I., & Alemán, L. C. (2023). Contaminación ambiental y salud cardiovascular: enfoque integral y nuevas evidencias. *REC: CardioClinics*, 59, 3-11.

Reinhard Kostka-Rick & William J. Manning,
Rábano un modelo para estudiar las
respuestas de las plantas al aire, 1992.

Zeballos G, Zaballa M, A. De la Rocha, Cuadros,
Granado S, Anze R. et Franken M,
Estandarización de métodos de cultivo y
exposición para estudios de biomonitorio. La
Paz, Bolivia: Unidad de Calidad Ambiental
Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San
Andrés, 2007.

Zuñiga, D. A. (2024). Evaluación de impacto
ambiental: Cambio climático y desarrollo
sostenible en Neuquén y Río Negro. Tinta
Libre Ediciones.

Gestión de agua de lluvia sostenible en las unidades educativas “Sojtapata” y “Santa Rosalía” del Distrito 6 del municipio de Sucre

Sustainable rainwater management in the "Sojtapata" and "Santa Rosalía" educational units in District 6 of the municipality of Sucre

RAKELA – Estefani¹*, MENDEZ – Rosbeli²

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

Recibido agosto 02, 2024; Aceptado septiembre 06, 2024

Resumen

El proyecto se desarrolló en las unidades educativas Sojtapata y Santa Rosalía, ubicadas en el Distrito 6 del Municipio de Sucre, Bolivia, con el objetivo de mejorar la seguridad hídrica y las condiciones ambientales mediante la implementación de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) y fortalecimiento de invernaderos sostenibles. Se identificó el acceso al agua potable como un derecho humano fundamental y se propusieron soluciones innovadoras y sostenibles para abordar la limitada disponibilidad de recursos hídricos en contextos rurales. La fundamentación teórica incluyó conceptos de cambio climático, gestión sostenible del agua y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), contextualizando la intervención dentro de los desafíos socioeconómicos y ambientales locales. El análisis situacional reveló restricciones significativas en el acceso al agua y condiciones socioeconómicas adversas, lo que orientó el diseño y dimensionamiento técnico de los sistemas implementados. Los resultados demostraron que el SCALL y los invernaderos con riego eficiente redujeron la dependencia de fuentes externas de agua potable y enriquecieron el entorno educativo. Además, se implementó un programa de educación ambiental basado en el método ARIPE, promoviendo la participación activa de la comunidad escolar en la gestión sostenible del recurso hídrico. Estas intervenciones integradas evidencian su potencial para ser replicadas en otras regiones rurales con problemáticas similares, contribuyendo a la mejora de la seguridad hídrica y la educación ambiental.

Palabras Clave

Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL), escasez de agua, educación ambiental, sostenibilidad, invernaderos

Abstract

This project was carried out in the Sojtapata and Santa Rosalía educational units, located in District 6 of the Municipality of Sucre, Bolivia, with the objective of improving water security and environmental conditions through the implementation of a Rainwater Harvesting System (RHS) and the strengthening of sustainable greenhouses. Recognizing access to potable water as a fundamental human right, innovative and sustainable solutions were proposed to address the limited availability of water resources in rural contexts. The theoretical framework incorporated concepts of climate change, sustainable water management, and the Sustainable Development Goals (SDGs), situating the intervention within local socioeconomic and environmental challenges.

A situational analysis revealed significant constraints in water access and adverse socioeconomic conditions, guiding the technical design and sizing of the implemented systems. Results demonstrated that the RHS and greenhouses equipped with efficient irrigation reduced reliance on external potable water sources and enriched the educational environment. Additionally, an environmental education program based on the ARIPE method was implemented, fostering active participation of the school community in sustainable water resource management. These integrated interventions demonstrate potential for replication in other rural regions facing similar challenges, contributing to enhanced water security and environmental education.

Keywords

Rainwater Harvesting System (SCALL), water scarcity, environmental education, sustainability, greenhouses

Citación: Rakela E. Gestión de agua de lluvia sostenible en las unidades educativas “Sojtapata” y “Santa Rosalía” del Distrito 6 del municipio de Sucre Revista Ingeniería Sostenible Ambiental 2024,1(2), 51-114

Introducción

El acceso al agua potable es un derecho humano fundamental reconocido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1994). Sin embargo, a nivel global persiste una creciente inestabilidad entre la demanda y disponibilidad de agua, un recurso esencial para la vida cotidiana. Aunque el 70% de la superficie terrestre está cubierta por agua, aproximadamente el 97,5% corresponde a agua salada y solo el 2,5% restante es agua dulce; de esta fracción, cerca del 70% se encuentra atrapada en glaciares, lo que limita a menos del 1% la cantidad de agua dulce accesible para el consumo humano. En zonas urbanas, el consumo per cápita oscila entre 150 y 300 litros diarios, mientras que la escasez hídrica se intensifica anualmente, constituyendo un desafío ambiental y social de alcance mundial (Villón, 2002).

En el contexto local, las unidades educativas Sojtapata y Santa Rosalía, ubicadas en el Distrito 6 del Municipio de Sucre, Bolivia, enfrentan una problemática significativa de escasez hídrica atribuible a una gestión ineficiente y la variabilidad climática. La captación de agua de lluvia surge como una técnica alternativa viable para mitigar el riesgo de sequía, mediante la intercepción, recolección y almacenamiento del agua pluvial, generalmente a través de techos, canaletas y tanques especializados.

Este estudio tiene como objetivo principal analizar el abastecimiento hídrico en el Distrito 6 de Sucre y proponer soluciones constructivas para enfrentar la problemática ambiental asociada al riesgo de sequía en las unidades educativas mencionadas. Para ello, se desarrolló un diagnóstico situacional basado en datos climáticos oficiales del SENAMHI, información institucional y consultas a expertos.

Además, se propuso el diseño de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) adaptado a las necesidades locales, complementado con un programa de educación ambiental fundamentado en el método ARIPE (Ajustar, Reactivar, Informar, Proyectar y Evaluar), que fomenta la participación activa de estudiantes, docentes y familias en la gestión sostenible del recurso hídrico.

El análisis del contexto socioeconómico revela limitaciones significativas en infraestructura y recursos, que dificultan el desarrollo integral de la comunidad educativa. Este trabajo aporta evidencia sobre la viabilidad técnica y social de sistemas integrados de captación de agua de lluvia y educación ambiental como estrategias efectivas para mejorar la seguridad hídrica y la resiliencia comunitaria en contextos rurales vulnerables.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en las unidades educativas de Sojtapata y Santa Rosalía, situadas en el Distrito 6 del Municipio de Sucre, Bolivia. Estas áreas rurales y semiurbanas se caracterizan por una disponibilidad limitada de recursos hídricos y enfrentan condiciones socioeconómicas desafiantes que afectan el acceso al agua potable y el desarrollo comunitario.

Sistema de captación de agua de lluvia (SCALL)

Para el diseño del SCALL, se consideraron varios componentes clave para asegurar una recolección, almacenamiento y filtración eficiente del agua de lluvia:

-Canaletas de PVC: Instaladas en los techos de las unidades educativas, estas canaletas recolectan el agua de lluvia y la conducen hacia los tanques de almacenamiento. Las canaletas fueron seleccionadas por su durabilidad y resistencia a las condiciones climáticas locales.

-Tanques de Almacenamiento: Se utilizaron tanques de plástico de alta capacidad, adecuados para satisfacer la demanda diaria de agua de las escuelas ver ecuación 1. Estos tanques están diseñados para prevenir la contaminación y asegurar la calidad del agua almacenada.

$$Vn = ER * 0.06$$

En donde Vn es el volumen almacenado durante un mes y ER es el rendimiento de agua de lluvia (Garduño, 1998)

%

-Filtros de Sedimentación y Carbón Activado: Implementados para purificar el agua recolectada, eliminando partículas y contaminantes. Estos filtros garantizan que el agua sea segura para el consumo y uso diario en las escuelas.

La implementación del SCALL involucró la instalación técnica de estos componentes, asegurando una integración óptima en la infraestructura existente de las escuelas. Además, se elaboró un manual de uso con instrucciones detalladas para el mantenimiento regular del SCALL, asegurando su sostenibilidad a largo plazo.

Construcción de invernaderos sostenibles:

El diseño y construcción de los invernaderos sostenibles en las unidades educativas siguió un enfoque práctico y participativo:

-Estructura del Invernadero: Se utilizó metal galvanizado para la estructura, priorizando la sostenibilidad y la economía de recursos. La estructura fue diseñada para soportar condiciones climáticas adversas y maximizar la eficiencia del espacio.

$$A_{pm} = f * i * g$$

En donde A_{pm} es el área de perfil metálico, f sección del cajón la parte inferior, i sección del cajón parte lateral y g el grosor (Garduño, 1998).

-Cubierta de Plástico de Invernadero: Un plástico de 200 micrómetros fue utilizado para cubrir el invernadero, protegiendo los cultivos de condiciones climáticas extremas y permitiendo un control eficiente de la temperatura y la humedad.

-Sistemas de Riego por Goteo: Para asegurar el uso eficiente del agua, se implementaron sistemas de riego por goteo, que permiten una irrigación controlada y precisa de los cultivos minimizando el desperdicio de agua.

$$Q = V_2 * A_2$$

En donde Q es el caudal de salida para la distribución del agua para el riego, V_2 velocidad de salida y A_2 área de la tubería (Garduño, 1998)

La construcción de los invernaderos involucró a la comunidad escolar, promoviendo la participación activa de estudiantes y profesores. Se realizaron sesiones educativas y talleres prácticos sobre técnicas de cultivo en invernaderos y técnicas de riego eficiente.

Además, se proporcionaron guía de mantenimiento y materiales didácticos para apoyar el aprendizaje continuo de prácticas agrícolas sostenibles

Educación ambiental

El componente educativo del estudio se basó en el método ARIPE (Ajustar, Reactivar, Informar, Procesar, Evaluar):

-Ajustar: En esta fase, las actividades tenían como objetivo enfocar la atención de los niños atreves de dos botellas con agua tratada y no tratada. Se explicó a los niños la diferencia y usos de cada tipo de agua mediante preguntas y respuestas.

-Reactivar: Para reactivar el conocimiento de los niños se siguieron utilizando las botellas que se mostraron en la fase de ajustar, se reforzó el conocimiento con las botellas de agua y se introdujo el tema del cuidado del agua en el hogar mediante preguntas y la interacción con un personaje disfrazado de gatico.

-Informar: Se impartió información sobre los riesgos del agua no tratada, la construcción de filtros caseros y métodos de purificación de agua, utilizando infografías y realizando preguntas para verificar la comprensión.

-Procesar: Para consolidar y fortalecer los nuevos conocimientos adquiridos los niños construyeron filtros caseros con materiales proporcionados, presentaron sus filtros y recibieron stickers por su participación.

-Evaluar: Se realizó una plenaria para evaluar el conocimiento que ha sido asimilado tanto en Sojtapata como en Santa Rosalía, los niños contestaron una serie de preguntas afines con los objetivos de aprendizaje, el método empleado fue un "Cuestionario".

Evaluación del impacto

-Indicadores de Éxito: Disponibilidad de agua medida en términos de cantidad recolectada y utilizada, producción agrícola evaluada a través del rendimiento de los cultivos en los invernaderos, y conocimiento de los estudiantes y profesores hacia la gestión del agua y la sostenibilidad.

-Métodos de recopilación de datos: Observación directa y monitoreo de las actividades y resultados, aplicación de encuestas y entrevistas a estudiantes, profesores y padres de familia, y análisis de datos utilizando técnicas estadísticas para evaluar la efectividad del proyecto.

Resultados

Unidad educativa sojtapata

La Unidad Educativa se encuentra en el distrito 6 del municipio Sucre, a dos horas de la carretera que conduce a Yamparaez. El camino hacia ella es de tierra y solo transitable para vehículos pequeños. Esta unidad está situada cerca del cementerio comunitario, en un entorno árido con vegetación escasa, los comunarios viven de la agricultura y ganadería, los niños del lugar solo asisten a esta Unidad Educativa para nivel primario e inicial.

Análisis pluviométrico

En Sojtapata, se realizó un análisis pluviométrico utilizando los métodos aritméticos, Thiessen e Isoyetas. Los resultados obtenidos fueron:

Tabla. 1 Obtención de la precipitación media. Este valor hace referencia al promedio de los tres meses más lluviosos (enero, febrero y marzo). Elaboración propia en base a datos obtenidos del SENAMHI.

Variable	Datos	Promedio (mm)
Precipitación A	Aritmético	874,039
	Thiessen	917,16
	Isoyetas	804,47

Los valores medios presentados fueron a partir de la información obtenida en 8 estaciones climatológicas. Además, en caso de datos faltantes, se realizó la extrapolación de diez años para cumplir un análisis más exacto de las 8 estaciones. Cabe aclarar que los datos son de toda la comunidad de Sojtapata y no solo de la Unidad Educativa.

Análisis Físico-Químico del Agua

El análisis del agua recolectada en botellas PET esterilizadas y refrigerada, mostró los siguientes resultados:

Tabla 2 Indicadores Físico-Químicos del SCALL implementado en la Unidad Educativa de Sojtapata.

Parámetros	Unidades	Medición	L.P de Bolivia	L.P de la OMS
Ph		6,60	6.5 - 9,0	6,5 – 8,5
Conductividad electica	µS/cm	8,90	1500	-
Turbiedad	UNT	1,76	5,0	5,0
Cloruros	mg/L	<LD*	250	250
Dureza total	Mg*CaC O ₃ /L	3,20	500	250
Sulfatos	mg/L	4,00	400	250
Hierro	mg/L	0,46	0,30	0,3
Manganeso	mg/L	<LD*	0,10	0,1
Coliformes totales	NMP/100 ml	1600	<2	0
Coliformes termo resistentes	NMP/100 ml	9	<2	0

Se tomaron las muestras del SCALL, la temperatura obtenida del agua fue de 21,2°C y 17% de humedad relativa, se respetó los límites permisibles (L.P) según la OMS y la norma boliviana 512, se pudo apreciar que el agua que se está dotando es mejor para la salud según los datos revelados en el informe. (Elaboración Propia en base a datos del ITA).

*LD: Limite de detección del manganeso es de 0.003 mg/L.

*LD: Limite de detección del cloro es de 0.14 mg/L

Diseño del SCALL (Sistema de Captación de Agua de Lluvia)

El diseño del SCALL consideró un techo de calamina con un coeficiente de escorrentía de 0.9 y la pendiente del techo fue de 26.79%. Para este diseño se obtuvo los siguientes resultados en base a los anteriores puntos y la precipitación hallada.

Tabla 3 Datos de los cálculos realizados en el SCALL.

Variable	Resultado	Unidad
Área de captación (a _i).	117,25	m ²
Demanda de agua en el mes "i" (d _i).	18600	L
Oferta de agua del mes "i" (a _i).	93,8	L
Demanda acumulada del mes "i-1" (d _a i).	91500	L
Rendimiento mensual de agua de lluvia (e _r).	73765,3	L/mes
Requerimiento mensual de agua tratada (b _w a)	18600	L
Volumen de almacenamiento (v _n)	4425,9	L
Interceptor de primeras aguas (v _{int})	117,25	L
Dimensionamiento (q _n)	0.024	L/seg

Estos datos fueron calculados usando un mes "i" (marzo) y los demás datos se basaron en los tres meses que se fueron utilizando a lo largo de este proyecto (enero, febrero y marzo), para cada ecuación se utilizó el promedio de precipitación del mes de marzo. Elaboración propia en base a ecuaciones (Garduño, 1998).

Invernadero sostenible

En el invernadero de la Unidad Educativa Sojtapata con un área de 24 m², se implementó un sistema de riego por goteo con 132 goteros distribuidos en mangueras de diferentes tipos. Los cálculos indicaron un requerimiento de riego de 396 litros por ciclo de riego.

El invernadero permitió cultivar una variedad de hortalizas, mejorando así la seguridad alimentaria y la calidad del entorno educativo. Los cultivos principales incluían cebolla, tomate y garbanzo, que crecieron de manera saludable gracias al sistema de riego eficiente.

Educación ambiental

En la Unidad Educativa Sojtapata, los talleres educativos involucraron a un total de 9 niños. De estos, el 90% calificaron los talleres como "Muy bueno" o "Bueno". En términos de comprensión de los temas presentados, el 95% de los participantes indicaron que entendieron los contenidos. Además, el 85% consideraron que el taller fue claro y comprensible. Estos resultados demuestran un alto nivel de aceptación y efectividad en la transmisión de conocimientos relacionados con la gestión sostenible del agua.

Unidad educativa Santa Rosalía

La Unidad Educativa de Santa Rosalía se sitúa en el centro de la comunidad, aproximadamente a dos horas y media de camino hacia Tarabuco. Históricamente, el río Santa Rosalía solía cruzar la zona, pero en la actualidad se encuentra seco. Este entorno semiárido se caracteriza por una vegetación escasa. La quebrada Achica representa el único cuerpo de agua cercano disponible tanto para la comunidad como para la Unidad Educativa, desempeñando un papel crucial en la vida diaria de los habitantes y en las actividades escolares.

Análisis pluviométrico

Para Santa Rosalía, el análisis pluviométrico arrojó los siguientes resultados:

Tabla 4 Obtención de la precipitación media. Elaboración propia en base a (Villón, 2002), este valor hace referencia al promedio de tres meses (enero, febrero y marzo).

Variable	Datos	Promedio (mm)
Precipitación	Aritmético	790,05
	Thiessen	749,02
	Isoyetas	720,65

Los valores medios presentados fueron a partir de la información obtenida en 8 estaciones climatológicas. Además, en caso de datos faltantes, se realizó la extrapolación de diez años para cumplir un análisis más exacto de las 8 estaciones. Cabe aclarar que los datos son de toda la comunidad de Santa Rosalía y no solo de la Unidad Educativa.

Diseño del SCALL (Sistema de Captación de Agua de Lluvia)

El diseño del SCALL en Santa Rosalía también utilizó un techo de calamina con un coeficiente de escorrentía de 0.9 y un área adecuada para maximizar la captación de agua de lluvia.

Tabla 5 Datos de los cálculos realizados en el SCALL.

Variable	Resultado	Unidad
Área de captación (A _T).	128,8	m ²
Demanda de agua en el mes “i” (D _i).	21700	L
Oferta de agua del mes “i” (A _i).	103,04	L
Demanda acumulada del mes “i-1” (D _{i-1}).	42700	L
Requerimiento mensual de agua tratada (B _{wa})	21700	L
Volumen de almacenamiento (V _n)	4861,90	L
Interceptor de primeras aguas (V _{int})	128,8	L
Dimensionamiento (Q _n)	0.023	L/seg

Estos datos fueron realizados usando un mes “i” (marzo) y los demás datos se basaron en los tres meses que se fueron utilizando a lo largo de este proyecto (enero, febrero y marzo).

Análisis Físico-Químico del Agua

El agua recolectada fue sometida a análisis, resultando en los siguientes valores:

Tabla 6 Indicadores Físico-Químicos del SCALL de la Unidad Educativa de Santa Rosalía.

Parámetros	Unidades	Medición	L.P de Bolivia	L.P de la OMS
pH		7,52	6.5 - 9,0	6,5 – 8,5
Conductividad electica	µS/cm	129	1500	-
Turbiedad	UNT	1,12	5,0	5,0
Cloruros	mg/L	1,12	250	250
Dureza total	Mg*CaCO ₃ /L	62,0	500	250
Sulfatos	mg/L	4,00	400	250
Hierro	mg/L	0,02	0,30	0,3
Manganeso	mg/L	<LD*	0,10	0,1
Coliformes totales	NMP/100ml	<2	<2	0
Coliformes termo resistentes	NMP/100ml	<2	<2	0

Se tomó la muestra del SCALL (no se pudo obtener agua clorada por la falla del clorado que es parte del sistema), en botellas PET de 2 litros, se puso en la conservadora con hielo y se obtuvo una temperatura de 19,9oC y 42,2% de humedad relativa. Elaboración Propia en base a datos del ITA.

*LD: Limite de detección del manganeso es de 0.003 mg/L.

Educación ambiental

Se llevaron a cabo talleres educativos en Santa Rosalía, los resultados de las evaluaciones de los talleres educativos en la unidad educativa demuestran un alto nivel de aceptación y comprensión de los temas relacionados con la gestión sostenible del agua, involucrando un total de 7 niños los cuales al ser menores de 5 años dieron como calificación muy buena el 80%. La mayoría de los estudiantes calificaron los talleres de manera positiva, indicando que las metodologías utilizadas fueron efectivas en transmitir los conocimientos. La alta tasa de comprensión sugiere que los contenidos fueron presentados de manera clara y accesible para los participantes

Discusiones

El proyecto de captación y manejo sostenible de agua de lluvia en las unidades educativas Sojtapata y Santa Rosalía ha demostrado una notable eficacia en la recolección y almacenamiento de agua. El análisis pluviométrico mostró que la precipitación anual varía entre 741.53 mm y 790.05 mm según los métodos utilizados. Esta precisión en los datos permitió dimensionar adecuadamente el SCALL, asegurando un suministro adecuado de agua durante todo el año escolar. La eficiencia del sistema se reflejó en la capacidad de captación, con un techo de calamina de 112.44 m² y una pendiente del 26.79%, que facilitó la recolección eficiente del agua de lluvia..

Los análisis físico-químicos del agua recolectada en Sojtapata y Santa Rosalía indicaron que esta es apta para su uso en actividades educativas y agrícolas. Los parámetros medidos fueron turbidez de 5 NTU, color de 15 UC y pH de 6.8. Estos valores están dentro de los límites aceptables, garantizando la seguridad y salud de los estudiantes y el éxito de los cultivos en los invernaderos. La calidad del agua es crucial para evitar problemas de salud y optimizar el crecimiento de las plantas.

La implementación del riego por goteo en los invernaderos escolares de Sojtapata ha generado un impacto significativo en la eficiencia hídrica y la productividad agrícola. Se instalaron 132 goteros distribuidos en mangueras, con un requerimiento total de 396 litros por ciclo de riego, lo que permitió una aplicación precisa y localizada del agua directamente en la zona radicular de los cultivos. Esta técnica minimiza las pérdidas por evaporación y escurrimiento, optimizando el uso del recurso hídrico y reduciendo el desperdicio hasta en un 50% en comparación con métodos convencionales. La distribución uniforme y controlada del agua favorece un crecimiento saludable y constante de los principales cultivos, entre ellos lechuga, tomate y espinaca, mejorando tanto la calidad como el rendimiento de las cosechas.

Además, el riego por goteo contribuye a la reducción del desarrollo de malezas y enfermedades fúngicas al evitar la saturación excesiva del suelo y el mojado foliar, promoviendo un ambiente más saludable para las plantas

Los talleres educativos sobre gestión del agua de lluvia y prácticas sostenibles fueron bien recibidos por los estudiantes y la comunidad escolar. En ambas unidades educativas, 90% de los niños calificaron los talleres como "Muy bueno" o "Bueno", y 95% de los participantes indicaron que entendieron los contenidos. Además, 85% de los estudiantes consideraron que el taller fue claro y comprensible. Estos altos niveles de comprensión y aceptación son cruciales para asegurar la sostenibilidad a largo plazo del proyecto. La educación ambiental ha sido una pieza clave para fomentar una cultura de cuidado y conservación del agua, empoderando a los estudiantes y sus familias a participar activamente en la gestión de los recursos naturales.

Conclusiones

Las conclusiones del presente estudio evidencian que, tras el diagnóstico, análisis de información teórica y contextual, se identificó que 28 escuelas del Municipio de Sucre enfrentan un riesgo moderado a alto de sequía, priorizándose para un análisis detallado las unidades educativas Sojtapata y Santa Rosalía. En Sojtapata, la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia y un invernadero permitió almacenar 3,500 litros de agua, destinando 100 litros por ciclo para riego por goteo en un área de 24 m², facilitando el cultivo sostenible de hortalizas. De manera similar, en Santa Rosalía se logró almacenar exitosamente 3,500 litros de agua para uso comunitario mediante un sistema análogo. La aplicación del método ARIPE en ambas unidades educativas resultó efectiva para promover la educación ambiental, facilitando la participación activa de estudiantes, docentes y familias mediante materiales didácticos y una guía de mantenimiento del sistema de captación.

La evaluación de la intervención fue positiva, destacando su carácter informativo y práctico para fortalecer la comprensión integral sobre la gestión sostenible del recurso hídrico.

Estos resultados demuestran la viabilidad técnica y social de integrar sistemas de captación de agua de lluvia con estrategias educativas participativas para mitigar el riesgo de sequía en contextos escolares rurales. Se recomienda ampliar la implementación de estas tecnologías y programas educativos en otras comunidades con condiciones similares, así como realizar un seguimiento a largo plazo para evaluar la sostenibilidad y el impacto socioambiental de las intervenciones.

Referencias

- Abdulla, F. a.-S. (Diciembre de 2019). Evaluación de la captación de agua de lluvia en tejados del norte de Jordania. Obtenido de <https://sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1474706519300294>
- Adler, I. e. (2008). Manual de captación de agua de lluvia para centros urbanos. Obtenido de PNUMA con IRRI Mexico: https://drive.google.com/file/d/1T4vHWp_pA7F0JxiVIvZEghh7t35dZqHL/view
- Ajit K. Srivastava, C. E. (2012). Engineering Principles of Agricultural Machines. Washington D.C: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- APB. (2022). Catálogo riego por goteo. Obtenido de https://www.materialesriegos.com/WebRoot/StoreES3/Shops/64472737/MediaGallery/Nueva_carpet1/Catalogo_Riegos_2022_Grupo_APB.pdf
- Avendaño, R. (2008). Metodología de la Investigación. Cochabamba, Bolivia.: Segunda edición. Educación y.
- Campo, D. (2020). Contraste por ETP del RDI en tres localidades climáticas. San Luiz Potosi, Mexico: Tecnologia y Ciencias del agua.
- Crespo, C. O. (2019). Ecuación general del riesgo: Una experiencia para construir mapas de riesgo. Obtenido de Programa de Reducción del Riesgo de Desastre (PRDD):
- Dulzaides M., M. A. (abril de 2004). Análisis documental y de información: dos componentes. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352004000200011
- EPA, E. p. (2020). Obtenido de agencia de protección ambiental de los estados unidos en español: <https://archive.epa.gov/epa/espanol/el-cambio-climatico-y-usted.html>
- Fausto A. Chagollan Amaral, e. a. (2006). Educación ambiental. Jalisco, Mexico: Umbral.
- FIDA, F. y. (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia, Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile: FAO.
- OMS. (1994). Organización Mundial de la Salud_Organizmo Gubernamental. Obtenido de Guidelines for drinking-water quality. 2a edición. Vol. 1-2.: <https://www.who.int/es>
- P. E. Hashimoto, G. P. (2000). Mathematical Modeling in Greenhouse Technology. Elsevier.
- Ramírez, I. (2006). Metodología de la Investigación Científica. Sucre, Bolivia: Texto de Módulo del diplomado en Educación Superior. Centro de Estudios de Posgrado e Investigación
- P. E. Hashimoto, G. P. A. B. H. C., 2000. Mathematical Modeling in Greenhouse Technology. s.l.:Elsevier.
- SENAMHI, 1891. Servicio nacional de meteorología e hidrología. [En línea] Available at: https://senamhi.gob.bo/index.php/boletin_hidrologico
- Villón, M., 2002. Hidrología. Cartago, Costa rica: Max soft.

Propuesta de plan de manejo ambiental para el centro de transformación de limón comunidad Rancho Pampa, municipio de Torotoro del departamento de Potosí

Proposed environmental management plan for the lemon processing center in the Rancho Pampa community, Torotoro municipality, Potosí department

LAIME - Alvaro^{1*}

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

Recibido septiembre,10, 2024; Aceptado octubre,04,2024

Resumen

Este estudio presenta el desarrollo de un Plan de Manejo Ambiental (PMA) para un Centro de Transformación de Limón ubicado en la comunidad Rancho Pampa, municipio de Torotoro, departamento de Potosí, Bolivia. La investigación surge ante la ausencia de instrumentos de regulación ambiental en la industria, lo que conlleva a la generación de impactos negativos sin estrategias de mitigación, agravado por su emplazamiento dentro de un área protegida. El objetivo principal fue diseñar un PMA que estableciera acciones detalladas para la prevención, reducción y mitigación de los impactos ambientales asociados a la operación de la planta. Para ello, se integraron fundamentos teóricos y conceptuales de la gestión ambiental con una metodología mixta que incluyó la revisión documental exhaustiva, el análisis y la síntesis de información relevante, la observación directa, la medición de parámetros ambientales críticos y la aplicación de técnicas e instrumentos de investigación específicos para la identificación y caracterización de los impactos. Los resultados del análisis revelaron incumplimientos normativos significativos, particularmente en los niveles de presión sonora, que superaron los 70 dB(A) establecidos en la legislación ambiental boliviana (Ley N° 1333 y su Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero). El PMA propuesto, basado en la normativa vigente, incluye medidas específicas para mitigar los impactos identificados. Un análisis técnico-económico demostró la viabilidad financiera de la implementación del PMA, arrojando una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 35,72% y un valor actual neto (VAN) de \$37.287,48, con un periodo de recuperación de la inversión estimado en dos años. Se concluye que el PMA elaborado proporciona un marco estructurado y económicamente viable para la gestión ambiental de la industria, asegurando el cumplimiento normativo y la minimización de su huella ecológica en un ecosistema sensible. Se recomienda la adopción del PMA considerando los promedios de producción de los últimos dos años para una implementación más efectiva.

Palabras clave: Área Protegida, Impacto Ambiental, Monitoreo Acústico, Viabilidad Económica

Abstract

This study presents the development of an Environmental Management Plan (EMP) for a Lime Processing Plant located in the Rancho Pampa community, Torotoro municipality, Potosí department, Bolivia. The research arose from the lack of environmental regulatory instruments in the industry, which leads to the generation of negative impacts without mitigation strategies, aggravated by its location within a protected area. The main objective was to design an EMP that established detailed actions for the prevention, reduction, and mitigation of environmental impacts associated with the plant's operation. To this end, theoretical and conceptual foundations of environmental management were integrated with a mixed methodology that included a comprehensive documentary review, analysis and synthesis of relevant information, direct observation, measurement of critical environmental parameters, and the application of specific research techniques and instruments for the identification and characterization of impacts. The results of the analysis revealed significant regulatory noncompliance, particularly in sound pressure levels, which exceeded the 70 dB(A) established in Bolivian environmental legislation (Law No. 1333 and its Environmental Regulations for the Manufacturing Industrial Sector). The proposed EMP, based on current regulations, includes specific measures to mitigate the identified impacts. A technical-economic analysis demonstrated the financial viability of implementing the EMP, yielding an Internal Rate of Return (IRR) of 35.72% and a Net Present Value (NPV) of \$37,287.48, with an estimated investment payback period of two years. It is concluded that the developed EMP provides a structured and economically viable framework for the environmental management of the industry, ensuring regulatory compliance and minimizing its ecological footprint in a sensitive ecosystem. Adoption of the EMP is recommended, considering the production averages of the last two years for more effective implementation.

Keywords: Protected Area, Environmental Impact, Acoustic Monitoring, Economic Viability

Citación: Laime A. Propuesta de plan de manejo ambiental para el centro de transformación de limón comunidad Rancho Pampa, municipio de Torotoro del departamento de Potosí, Revista Ingeniería Sostenible Ambiental 2024,1(2),51-114

Introducción

El desarrollo económico y tecnológico a nivel mundial, junto con el crecimiento demográfico y la creciente demanda de productos industriales, ha impulsado la creación de numerosas empresas que, en muchos casos, operan sin un Plan de Manejo Ambiental (PMA). Esta ausencia de regulación ambiental ha generado impactos negativos significativos, como la contaminación de cuerpos de agua, la degradación del suelo y la pérdida de ecosistemas y hábitats naturales (Ortuño, 2017).

En Bolivia, el incremento reciente en la producción de alimentos industriales ha llevado a la proliferación de industrias que, debido a la flexibilidad de las autoridades ambientales y la falta de exigencia normativa, no cuentan con PMA que regule y mitiguen sus impactos ambientales (Ortuño, 2017). Particularmente en el departamento de Potosí, las industrias y centros de transformación de cítricos carecen de herramientas adecuadas para prevenir, reducir y mitigar los efectos ambientales adversos derivados de sus actividades, lo que afecta la calidad de vida de las comunidades locales y limita su integración efectiva en la economía regional (Romero, 2022). El Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Fabricante establece la obligatoriedad de elaborar un PMA para las industrias alimenticias, incluyendo los centros de transformación de cítricos. Este plan busca que las entidades reconozcan los impactos potenciales de sus operaciones y adopten programas de cumplimiento que aseguren el respeto a los parámetros ambientales vigentes (Fernández, 1997). La gestión ambiental basada en el conocimiento de las causas y efectos de los impactos es esencial para la prevención y corrección de daños ambientales, garantizando el cumplimiento de la legislación ambiental en todos los procesos industriales (Gahona, 2023).

El Parque Nacional Torotoro, con una extensión de 166 km², es el área protegida más pequeña de Bolivia, pero destaca por su diversidad ecosistémica y alto nivel de endemismo. Sin embargo, enfrenta serios desafíos para la conservación y manejo sostenible de sus recursos naturales y culturales. En su zona de amortiguamiento se encuentra el Centro de Transformación de Limón, ubicado a menos de 2 km del núcleo del parque, lo que incrementa la vulnerabilidad ambiental de esta área protegida (García, 2020).

En este contexto, resulta imprescindible la elaboración de un Plan de Manejo Ambiental para el Centro de Transformación de Limón en la comunidad Rancho Pampa, municipio de Torotoro, departamento de Potosí, con el fin de establecer medidas técnicas y normativas que permitan minimizar los impactos ambientales y promover un desarrollo industrial.

Materiales y métodos

Métodos de investigación

Análisis Documental y Bibliográfico: Se aplicó un análisis exhaustivo de documentos técnicos, normativos y científicos relacionados con la gestión de impactos ambientales en industrias de transformación de cítricos, específicamente para el Centro de Transformación de Limón en la comunidad Rancho Pampa (Torotoro). Este método permitió seleccionar y fundamentar los referentes teóricos pertinentes para el diseño del Plan de Manejo Ambiental.

Análisis y Síntesis: Se realizó un diagnóstico integral de la situación ambiental actual del Centro de Transformación de Limón, sintetizando la información recopilada para interpretar y evaluar los impactos ambientales identificados.

Métodos empíricos

Observación Científica: Se llevaron a cabo visitas de campo para la identificación directa de afectaciones en los factores ambientales (agua, suelo, aire, biodiversidad) vinculados a la operación industrial.

Esta observación permitió detectar modificaciones y tendencias asociadas a los impactos generados.

Medición: Se efectuó la caracterización cuantitativa de los impactos ambientales mediante la medición de parámetros físicos y químicos relevantes, tales como niveles de ruido, calidad de agua y generación de residuos sólidos, con el fin de evaluar el cumplimiento de los estándares ambientales vigentes.

Técnicas

Entrevistas Semi-estructuradas: Se recopilaban datos cualitativos a través de entrevistas dirigidas a los responsables del Centro de Transformación de Cítricos y miembros de la comunidad local, con el propósito de identificar percepciones, falencias y necesidades relacionadas con la gestión ambiental.

Instrumentos de investigación

Cuestionarios: Se aplicaron cuestionarios estructurados a 60 trabajadores y habitantes de Rancho Pampa para obtener información cuantitativa sobre prácticas ambientales, percepción de impactos y condiciones laborales.

Planillas de Registro: Se emplearon para documentar sistemáticamente la caracterización y cuantificación de residuos sólidos generados en el Centro de Transformación.

Monitoreos Ambientales: Se implementaron monitoreos periódicos para cuantificar emisiones atmosféricas y partículas contaminantes, con el objetivo de evaluar su incidencia en los factores ambientales circundantes.

Marco legal

La investigación se fundamentó en la normativa ambiental boliviana vigente, incluyendo:

- Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia (2009)
- Ley N° 1333 del Medio Ambiente
- Reglamento General de Áreas Protegidas (DS N° 24781, 31 de julio de 1997)
- Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Fabricante (RASIM)

Instrumentos de gestión ambiental

Se consideraron los siguientes instrumentos para la regulación y gestión ambiental del Centro de Transformación:

- Instrumentos de Regulación de Alcance Particular (IRAP)
- Registro Ambiental Industrial (RAI)
- Plan de Manejo Ambiental (PMA)

Resultados

Antecedentes de la actividad

El Centro de Transformación de Limón de la comunidad Rancho Pampa, ubicado en las coordenadas 18°04'54.92" de latitud sur y 65°44'43.52" de longitud oeste, a una altitud promedio de 2.057 m snm, inició sus operaciones el 15 de marzo de 2022. Durante los últimos dos años, la planta ha operado consistentemente por encima del 80% de su capacidad instalada, lo que refleja un desempeño sostenido y eficiente en la producción de derivados de limón. La proyección de vida útil de la industria es de 15 años, en concordancia con los estándares de planificación industrial para infraestructuras agroindustriales en la región

Nombre de la unidad industrial: Centro de Transformación de Limón comunidad Rancho pampa - Torotoro

Razón social: Centro de Transformación de Limón Comunidad Rancho Pampa - Torotoro

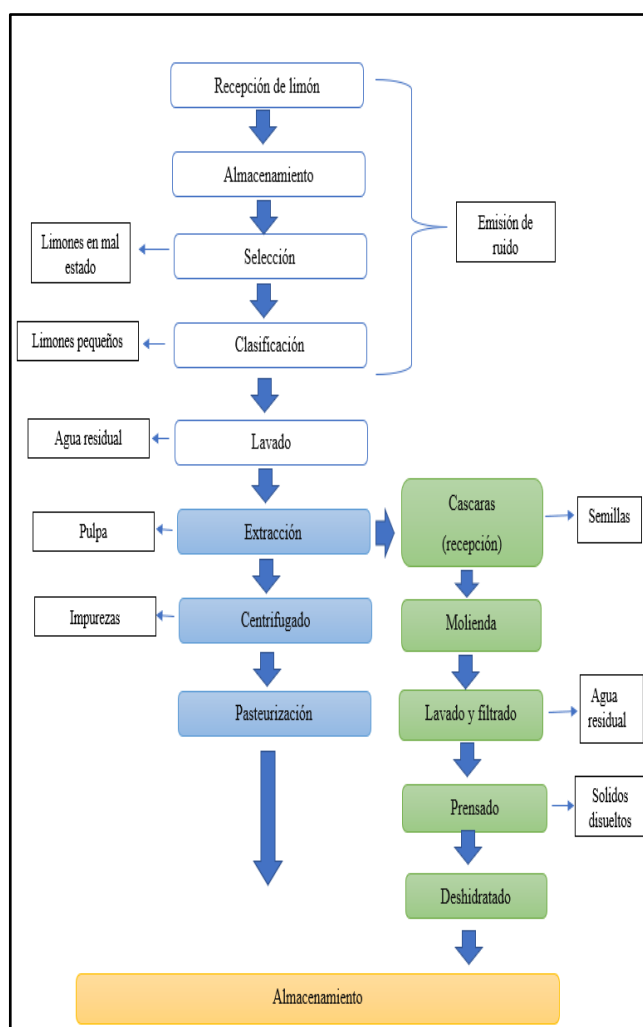
Código RAI: 050502-003-CA4-2022

Código CAEB: 15132

Descripción de las operaciones del proceso

Dentro de la industria tenemos dos líneas de producción que son el jugo de limón y las cascavas deshidratadas para lo cual mostraremos un diagrama de flujo de producción

.

Diagrama 1 Operaciones del proceso

Producción jugo de limón

- **Recepción y descarga de materia prima:** Se acondiciona y recepción la materia prima en costales de 46kg en el proceso se genera polvo, ruido
- **Almacenamiento:** Se almacena la materia prima a 20°C de temperatura
- **Selección:** Ingresa por las bandas transportadoras a una capacidad de 1200 ton teniendo un 2,5% de pérdida llegando a ser 30 ton de materia en mal estado que quedaría generando esa cantidad de residuo anual, esto resto de materia en descomposición no cuentan con un lugar adecuado de almacenamiento ni disposición final (Relleno sanitario).

• **Clasificación:** Se clasifica a la materia prima por tamaños para que pueda entrar a la etapa de extracción de jugo, teniendo una cantidad de 1170 ton anuales de materia prima, con una 2,5% de pérdidas llegando a ser 26,91 ton anuales de materia residual que se genera en esta etapa de producción, como en la anterior etapa esta no tiene una disposición final adecuada de sus residuos.

• **Lavado:** En esta etapa se realiza el lavado de la materia prima ya seleccionada y clasificada con 1170 de materia prima, con un 0,6% de pérdida llegando a ser 6,86 ton anuales de residuo de impurezas las cuales no cuentan con una disposición final adecuada de los residuos.

• **Extracción:** En esta etapa se cortan los limones para luego extraer el jugo, teniendo 1137,91 ton anuales de materia prima y un 70% de pérdidas llegando a ser 796,53 ton de residuo (semillas, pulpa, cascara), generando anualmente de residuos las cuales pasara a la otra línea de producción que son las cascara deshidratadas.

• **Centrifugado:** En esta etapa tenemos 341,38 ton anuales de materia prima que ingresa y una pérdida mínima de 0,1% de llegando a ser 3,41ton anuales las cuales terminan directamente en el desagüe de la industria.

• **Pasteurizado:** En esta etapa tenemos 337,97 ton de materia prima que ingresa de las cuales no tenemos pérdidas de ningún tipo.

• **Embotellado:** Es la etapa donde se envasa al producto final en botellas de plástico PRT de 500ml y de 1lt

Cáscaras deshidratadas

• **Recepción:** Acondicionamiento y recepción de las cáscaras para su posterior transformación, teniendo una entrada de 300kg /h de las cuales no se presenta ningún tipo de pérdidas mediante la duración de esta etapa.

• **Molienda y trituración:** El proceso de obtención de la cáscara deshidratada comienza con la trituración de la cáscara en un molino de martillos, esta etapa además de reducir el tamaño de la cáscara para facilitar el secado en esta etapa no se presenta ningún tipo de pérdidas.

- **Lavado y filtrado:** La cáscara se lava con agua en un tanque con el fin de solubilizar y eliminar las impurezas solubles que de otro modo darían un color indeseable durante el secado, en esta etapa no se presenta ningún tipo de pérdidas, por lo contrario, se liberan sólidos solubles.
- **Prensado:** En esta etapa la cáscara debe ser separada del agua del lavado por lo que es filtrada en un filtro parabólico, donde la cáscara filtrada es transportada directamente hacia el prensado, teniendo como entrada 300kh/h de materia, en esta etapa tenemos un 30% de pérdidas llegando a ser 90kg/h, 720 kg diarios y 187.200kg anuales de materia residual como ser los sólidos disueltos.
- **Deshidratado:** Se extrae la humedad contenida en la cáscara utilizando aire caliente capas de retirar agua hasta obtener los valores finales de 8 – 12 % de humedad. La cáscara es distribuida en bandejas que luego ingresan en la cámara de secado donde un quemador inyecta aire caliente. Este proceso tiene una duración de 8-10 hs para finalmente obtener la cáscara deshidratada, en el proceso tenemos un ingreso de 210kh/h, es en esta etapa donde se presentan la mayor cantidad de pérdidas con un estimado del 70% llegando a ser 147,02 kg/h, unos 1.476 kg diarios llegando a generar 305.801,6 kg anuales.
- **Envasado:** Una vez secado, se debe envasar para que la cáscara deshidratada no absorba agua del ambiente en una embolsadora de sacos/bolsas 25 a 50 kg.

Balance hídrico y energía

Balance hídrico del proceso productivo del centro de transformación. - Se utiliza una cantidad anual de 3.229,9 m³ de agua en el Centro de Transformación de Limón, 12,41 m³ de agua por día. Y la gestión de agua que se realiza dentro del centro de transformación de limón es la es de la siguiente manera.

El agua para proceso de producción del centro de transformación del limón es abastecida por la empresa local de agua potable del municipio, trasladada mediante ductos hacia un tanque de 50000 litros de hormigón armado.

El agua residual del proceso productivo es descargada directamente a campos abiertos, desembocando al río. Para el descargo de estas aguas se realiza previamente la separación de sólidos suspendidos mediante mallas de colectoras ubicadas en los canales dentro del proceso productivo.

Tabla 1 Promedios de consumo de agua por etapas

Etapas	Entrada (m³/año)	Salida(m³/año)
Jugo de limón	1851,8	1795,24
Cáscara deshidratada	811,3	792,41
Limpieza de instalaciones y oficinas	566	566

El consumo de agua en la etapa de producción es de 2663,1 m³/año con una generación de agua residual de 2587,65 m³/año, y el consumo para la limpieza de las instalaciones es de 566 m³/año y la misma cantidad de agua residual generada.

Consumo de energía eléctrica. -En toda la línea de producción, se implementaron conexiones individuales diseñadas específicamente para minimizar las pérdidas de energía durante su transporte, logrando así una eficiencia energética óptima con pérdidas reducidas al mínimo. El consumo energético anual total asciende a 708.040 kWh, destacándose que el proceso de deshidratación de cáscaras representa la mayor demanda energética dentro de la planta. Esta distribución del consumo energético permite identificar áreas clave para la optimización y mejora continua en la gestión energética del centro productivo

Descripción de instalaciones y recursos humanos

La industria cuenta con dos áreas que son; área administrativa, área de transformación lo cual igual podemos misionar que cuenta con 40 trabajadores entre administrativos, operadores, supervisores, mantenimiento y serenos.

Identificación de impactos ambientales según el RASIM

Por las características que posee este tipo de Industria y por el lugar donde se sitúa, se asume que los posibles impactos ambientales afecten en los factores aire, agua y suelo por el vertido de sus descargas como se detallan en las tablas siguientes.

Tabla 2 Codificación

Componente	Código	Proceso y/o Actividad
Emisiones atmosféricas	AI 01	Transporte de materia prima y almacenamiento de producto-emisión de gases de efecto invernadero
	AI 02	Almacenamiento de material en mal estado – emisión de olores
	AI 03	Tanques sépticos – emisión de malos olores
Hídrico	AG 01	Lavado de la materia prima Limpieza de herramientas y/o equipos
	AG 02	Limpieza de oficinas
	RS 01	Descarga de materia prima seleccionada (en mal estado)
Residuos solidos	RS 02	Perdidas por impurezas
	RS 04	Actividad humana
	RS 05	Oficina
Sustancias peligrosas	SP 01	Ninguno

Tabla 3 Fuentes y puntos de emisiones atmosféricas

Código	Fuentes/ puntos	Tipo de emisión de contaminante	Impacto
AI 01	Descarga de materia prima	Emisión de gases de efecto invernadero	Afecciones fisiológicas para el personal y la población adyacente
AI 02	Almacenamiento de Material en mal estado	Emisión de olores	
AI 03	Tanques sépticos		

Tabla 4 Fuentes y puntos de emisiones de ruido.

Código	Fuente / Punto	Impacto
RV 01	Sección de descarga de materia prima	
RV 02	Transporte de materia prima mediante las bandas transportadoras	Afecciones fisiológicas para el personal y la población adyacente
RV 03	Extracción de jugo	
RV 04	Embazado del producto final	

Tabla 5 Fuentes y puntos de descargas líquidas.

Código.	Fuentes.	Volumen. m ³ /año	Tratamiento previo a la descarga.	Puntos de descarga.
AG 01	Lavado de materia prima	limón 1795,24	Solo se realiza captura de solidos suspendidos en canales	Quebrada adyacente al centro de transformación
		Casca- ras 722,41		
	Limpieza de Instalaciones y oficinas	566	ninguno	Pozo séptico – quebrada adyacente

Tabla 6 Identificación de fuentes de generación de residuos sólidos

Código.	Fuente.	Tipos de residuos.	Disposición final.
RS 01	Selección de materia prima	Materia prima en descomposición, dañados y pequeños	No cuenta con un lugar adecuado para la disposición final de este tipo de residuos
RS 02	Perdida por impurezas	Producto que tiene un grado alto de impureza	No cuenta con una disposición final adecuada
RS 03	Actividad humana	Residuos asimilables a domésticos, restos de limpieza de desechos orgánicos	No cuenta con un medio de transporte de residuos, tampoco con un relleno sanitario
RS 04	Oficinas	Papel, cartón, etc.	

Tabla 7 Caracterización de las emisiones atmosféricas por olor

Código.	Fuente.	Características.	Límites permisibles.
AI 02	Descomposición de materia seleccionada	Olores que se desprenden por la descomposición de los residuos en mal estado	No existen parámetros
AI 03	Pozo séptico	Olores que se desprenden del pozo séptico	

Tabla 8 Emisiones de gases AI 03

Movilidad	Punto de Muestreo	Combustible	Método	Co	No2	So2	Opacidad
				% Vo	Pp m	%Vol	%
Camión	Caño de escape	Diesel	Electroquímico	1,8	247	0,62	9,4
Tractor	Caño de escape	Diesel	Electroquímico	2,1	219	0,47	7,6

Tabla 9 Caracterización de las emisiones atmosféricas por emisión de ruido.

Áreas emisoras de ruido							
Nº	Área de medición	Coordenadas	Método	Medición db (A)	Resultado		
1	Lado oeste	209467 E 7998593S	NTP 270	75,2	74,9	74,8	74,97
2	Lado sur	209418E 7998609 S	NTP 271	70,8	71,2	71,6	71,20
3	Lado este	209376E 7998594 S	NTP 272	75,1	74,5	75,5	75,03
4	Lado norte	209417E 7998565S	NTP 273	69,8	69,1	69,0	69,30

Plan de prevención y mitigación (PPM)**Aspectos en materia de contaminación atmosférica:****Partículas y olores:**

Objetivos: Mantener los parámetros que determinen la calidad del aire dentro de los límites permisibles, Limpieza y recolección de la materia en descomposición, y disposición final, Reducir la emisión de los gases que se generan por la maquinaria, Reducir la emisión de olores provenientes del material desechado.

Metas: Minimizar la emisión de olores en el área de desechos, minimizar la emisión de gases de las maquinarias.

Acciones: Realizar los mantenimientos preventivos de la maquinaria, dotación y uso de equipos de protección personal, limpieza y recolección y almacenamiento adecuado de los residuos, armonización en la unidad industrial en los predios de la industria.

Ruido:

Objetivos: Evitar que el ruido generado en el proceso productivo del centro de transformación de limón, ocasione molestias en la población circundante y a los trabajadores.

Metas: Que los niveles de emisión sonora bajen hasta debajo de límites permisibles que nos indica norma ambiental vigente.

Acciones: Mantenimiento constante de los equipos, herramientas e instalaciones para su adecuado funcionamiento, cumpliendo con las condiciones de seguridad industrial, Realizar monitoreos de ruido para que estas no sobrepasen los límites permisibles, Dotar al personal de equipos de protección auditiva.

Aspectos en materia de contaminación hídrica.

Objetivos: Implementar una gestión adecuada para el uso de recursos hídricos, implementación de un filtro de agua, realizar el tratamiento de aguas residuales.

Metas: optimización de los procesos donde existen el uso de agua, reutilizar el agua filtrada en el proceso de lavado, minimizar la concentración de contaminantes hasta alcanzar los límites permisibles y exigidos por la ley

Acciones: Capacitar al personal sobre la optimización del uso del agua en los procesos. implementar un filtro de agua para poder optimizar el consumo de los recursos hídricos, mejorar y realizar el mantenimiento constante de las mallas de retención y filtración de residuos en los puntos de conductos de desagüe de aguas en todo el proceso, implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales para sus descargas líquidas, reutilizar el agua obtenida de acuerdo a sus características previo, tratamiento.

Aspectos en materia de residuos sólidos.

Objetivos: Implementar un sistema de gestión y clasificación de los residuos sólidos adecuados, de acuerdo a la normativa boliviana NB. 758 en peligrosos y no peligrosos, disposición final adecuada de los residuos sólidos.

Metas: Minimizar los efectos de contaminación por residuos sólidos, cumplir con los requisitos para el manejo y almacenamiento temporal de los residuos sólidos exigidos en RASIM, tener un registro adecuado de las cantidades generadas de residuos sólidos y de sus transferencias a terceros o disposición final

Acciones: Implementación de un sistema de gestión y clasificación de residuos sólidos, capacitar al personal sobre el manejo y uso de residuos sólidos, implementación de una planta de compostaje, implementar registros por tipo y volumen de los residuos sólidos, realizar

convenios con la empresa local de aseos del Gobierno municipal de Torotoro para la disposición final adecuada de los residuos sólidos.

Aspectos en materia de sustancias peligrosas.

Objetivos: La industria no ase uso de ninguna sustancia peligrosa

Presupuesto: la implementación de un PMA en la industria tiene un costo de 49255,15

\$ con un costo de inversión de 32605,73 \$ y un costo de operación de 16646,42 \$

Plan de aplicación y seguimiento ambiental (PASA)

El PASA requerido para el seguimiento a las acciones propuestas deberán permitir efectuar un control para que las medidas de mitigación propuestas en el PPM sean cumplidas y los. Impactos reales puedan ser evaluados. Para mejorar o modificar las medidas propuestas durante la operación del proceso de producción del Centro de Transformación de Limón.

Objetivo general: El principal objetivo del PASA es el de establecer medidas para asegurar el cumplimiento y desarrollo de las acciones, en conformidad a los lineamientos propuestos para tales efectos.

Objetivos específicos:

- Controlar el cumplimiento de las recomendaciones de ajuste ambiental y las medidas de mitigación.
- Proporcionar información de los impactos que resultan de las acciones propuestas. Con esta información es posible hacer una predicción más confiable de los impactos.
- Tomar datos y control puntual de determinados factores que permitan ir llenando un registro de Estado del medio ambiente.
- Proporcionar información que puedan usarse para evaluar la efectividad de las medidas de mitigación instrumental y para verificar los impactos predichos, por lo tanto, validados, modificar y/o ajustar las técnicas de predicción utilizadas.

Discusión

La industria presenta emisiones significativas de gases y olores derivados de la división de residuos orgánicos y del funcionamiento de la maquinaria.

El mantenimiento adecuado de los equipos es fundamental para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, optimizando su eficiencia energética y prolongando su vida útil, tal como se ha evidenciado en sectores similares donde la modernización y mantenimiento de maquinaria han disminuido la huella de carbono industrial. Además, la gestión oportuna de residuos orgánicos minimiza la generación de olores desagradables y evita su acumulación, contribuyendo a mejorar la calidad ambiental interna. La implementación de barreras vegetales, mediante la plantación de árboles dentro y alrededor de la industria, actúa como sumidero de contaminantes atmosféricos y ayuda a mitigar olores, favoreciendo la calidad del aire en el entorno inmediato.

El ruido generado por la industria, asociado al mal mantenimiento de equipos ya la alta producción, representa un riesgo para la salud ocupacional y ambiental. El mantenimiento preventivo de la maquinaria es una medida eficaz para disminuir las emisiones sonoras, garantizando un funcionamiento óptimo y reduciendo vibraciones y ruidos excesivos. El monitoreo periódico de los niveles de ruido es indispensable para asegurar el cumplimiento de los límites normativos y para detectar posibles desviaciones que requieran intervención inmediata. Además, el uso adecuado de equipos de protección personal, especialmente protectores auditivos, es esencial para prevenir daños auditivos en el personal expuesto.

El consumo elevado de agua y la descarga de efluentes contaminados constituyen un problema crítico que afecta tanto a la comunidad local como al área protegida de Torotoro. La implementación de tecnologías de recirculación, como sistemas de filtración con capacidad de 2 m³/h, permite reducir el consumo hídrico en hasta un 50%, con un bajo consumo energético gracias a la tecnología moderna empleada.

El mantenimiento regular de mallas de retención de sólidos es clave para disminuir la carga contaminante en las aguas residuales, evitando la acumulación de sólidos suspendidos que afecta la calidad del agua. La instalación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales representa una solución eficiente, económica y ambientalmente amigable para reducir parámetros contaminantes como DBO, DQO y sólidos disueltos, contribuyendo a la restauración de la calidad hídrica en zonas sensibles.

La generación y disposición inadecuada de residuos sólidos es una fuente importante de contaminación y riesgos ambientales. La implementación de un sistema integral de recolección y clasificación de residuos permite minimizar la acumulación y facilitar su manejo adecuado. La capacitación del personal en la segregación de residuos (orgánicos, peligrosos y asimilables a domésticos) es fundamental para reducir impactos negativos asociados a la mala gestión. La planta de compostaje transforma los residuos orgánicos en abono y fertilizante natural, promoviendo un ciclo cerrado de nutrientes que beneficia tanto al medio ambiente como a la comunidad agrícola local. Esta medida puede reducir más del 90% de los residuos sólidos generados, disminuyendo significativamente los impactos ambientales derivados de su disposición final. Finalmente, el registro sistemático de los tipos y volúmenes de residuos generados es indispensable para planificar y ejecutar una disposición final adecuada y conforme a la normativa vigente.

La evaluación económica del Plan de Manejo Ambiental (PMA) para el Centro de Transformación de Limón de Rancho Pampa evidencia la viabilidad financiera de su implementación a mediano plazo. Según los resultados presentados en la Tabla 1, la inversión inicial requerida asciende a 49.255,15 USD, desembolsada en el año cero del proyecto.

A partir del primer año de operación, se observa una tendencia creciente en los ingresos anuales, que pasan de 46.629,14 \$ en el primer año a 59.932,24 \$ en el quinto año. Los egresos anuales, asociados a los costos operativos y de mantenimiento del PMA, se mantienen constantes en 19.187,34 \$ a partir del segundo año. El flujo de efectivo neto evidencia que la recuperación de la inversión se produce a partir del segundo año, con valores positivos crecientes que alcanzan los 40.744,90 \$ en el año quinto. Este comportamiento indica que el proyecto no solo es capaz de cubrir los costos iniciales y operativos, sino que también genera un excedente económico significativo. Los indicadores financieros calculados refuerzan esta conclusión: la Tasa Interna de Retorno (TIR) es del 35,72%, valor considerablemente superior a la tasa de descuento utilizada (15%), lo que demuestra la rentabilidad del proyecto. Asimismo, el Valor Actual Neto (VAN) asciende a 37.287,48 \$, confirmando la generación de valor económico a lo largo del horizonte de evaluación. En conjunto, estos resultados demuestran que la implementación del PMA no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental y al cumplimiento normativo, sino que también representa una alternativa económicamente atractiva para la industria, con un período de recuperación de la inversión inferior a dos años y una rentabilidad robusta en el mediano plazo.

Conclusiones

La propuesta del Plan de Manejo Ambiental (PMA) fue elaborada conforme a la Ley N° 1333 del Medio Ambiente y al Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero (RASIM), incorporando todos los lineamientos y normativas vigentes para garantizar su cumplimiento integral.

Se identificaron y caracterizaron los principales impactos ambientales en los factores aire, agua y suelo, lo que permitió diseñar medidas específicas de prevención, reducción y mitigación adaptadas a las particularidades de la industria.

La elaboración del PMA se basó en los datos de producción correspondientes al año 2023, debido a la imposibilidad de acceder a información de años anteriores por políticas internas de confidencialidad de la empresa.

Durante el diagnóstico ambiental y los monitoreos realizados, se constató que la industria no cumple con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental, especialmente en lo referente a la contaminación acústica, superando en tres puntos de medición el umbral de 70 dB(A). Los resultados de los monitoreos de ruido confirmaron que las emisiones sonoras de la planta exceden los niveles permisibles, lo que evidencia la necesidad urgente de implementar medidas correctivas.

La inversión estimada para la implementación del PMA asciende a 49.255,15 dólares americanos, con una proyección de ejecución y evaluación a cinco años.

El análisis económico proyectado a cinco años demuestra la viabilidad financiera del PMA, con una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 36% y un Valor Actual Neto (VAN) de 38.222,26 dólares, recuperando la inversión inicial a partir del segundo año de implementación.

Referencias

- Badgley, C. (2007). "Can Organic Agriculture Feed the World? Preface". *Renewable Agriculture and Food Systems* 22(2): 80-86. DOI <https://doi.org/10.1017/s1742170507001986>
- Beltrán, C. A. & Vela, Z. K. (2024). Apoyo a la actualización al plan de manejo integral de residuos sólidos (PMIRS) en la Plaza de mercado Las Flores en Bogotá D.C, Colombia. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/95295>

- Candelaria, B., Ruiz, O., Pérez, P., Gallardo, F., Vargas, L., Martínez, A. y Flota, F. (2014). “Sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, Veracruz, México”. *Revista Cuadernos de Desarrollo Rural* 73(11): 87-104. DOI <https://doi.org/10.11144/javeriana.cd.r11-73.sdam>
- Cardoso, A. N. & Moreno, E. (2024). Formulación del plan de manejo ambiental de la finca de La Ruta Vereda el Ocaso, sector San Cayetano del municipio de Zipacón Cundinamarca. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/94348>
- Fernandez, V. C. (1997). elaboración de un plan de manejo ambiental. conseca.
- Clavijo, P., Pérez, S., Guanoquiza, J., & Caguana, M. (2024). Análisis de indicadores de sostenibilidad ambiental en los Páramos de los Illinizas Sur: un estudio de caso en las termas de Cunuyacu, Ecuador. *REVISTA DELOS*, 18(63), e3661. <https://doi.org/10.55905/rdelosv18.n63-131>
- García, G. (2018). Análisis financiero ambiental de la administración de los desechos sólidos y su incidencia en la viabilidad financiera en los centros de distribución de productos de tocador en el municipio de Mixco. [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_5968.pdf
- G.A.M.Torotoro. (2021). resumen ejecutivo. rodriguez.
- Gahona, M. (2023). problemas ambientales en la industria. Gahona.
- Garcia, G. (2020). parque naciona Torotoro. Garcia.
- Gutierrez, E. & Cortes, J. S. (2021). Diseño del plan de gestión ambiental para el Centro de Autoservicios Santa Bárbara ubicado en la localidad Suba – Bogotá. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.14625/22429>
- Liverman, D., Hanson, M., Brown, B. y Merideth, R. (1988). “Global Sustainability: Toward Measurement”. *Environmental Management* 12(2):133-143. DOI <https://doi.org/10.1007/bf01873382>
- Ortuño, S. G. (2017). PMA, industria de los alimentos. sonia.
- Otero Martínez, G. (2024). Implementación de un plan de manejo ambiental en un centro logístico e industrial: estrategia para minimizar impactos ambientales negativos. Universidad de Córdoba.
- Pimentel, D. (2005). “Environmental, Energetic, and Economic Comparisons of Organic and Conventional Farming Systems”. *BioScience* 55(7): 573-582. DOI [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0573:EEAECO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0573:EEAECO]2.0.CO;2)
- Pineda Ortiz, A. (2010). Implementación del sistema de gestión ambiental en la empresa G.L. Ingenieros S.A. Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/1223>
- RASIM – Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero.
- Rios Coz, I y Padilla Coz, N. (2024). Percepción sobre actitud ambiental y manejo de residuos sólidos en los estudiantes de secundaria de la I.E. 32737 Santa Virginia -Huánuco, 2023. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. Disponible en: <https://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/11842>

- Santistevan, M., Borjas, R., Alvarado, L., Anzules, V., Castro, V. y Julca, A. (2018). "Sustainability of Lemon (*Citrus aurantifolia* Swingle) Farms in the Province of Santa Elena, Ecuador". *Peruvian Journal of Agronomy* 2(3): 44-53. DOI <https://doi.org/10.21704/pja.v2i3.1210>
- Silva Ayala, J. (2018). Propuesta para la elaboración de un programa de gestión ambiental en base a los requisitos de la norma ISO 14.001 para el uso y almacenamiento de insumos peligrosos en una planta de tratamiento de aguas servidas. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152816>
- Zamilpa, J. (2016). "Estado de la cuestión sobre las críticas a la agricultura orgánica". *Acta Universitaria* 26(2): 40-49. DOI <https://doi.org/10.15174/au.2016.854>

Evaluación de la contaminación acústica en alrededores de los Hospitales Universitario y San Pedro Claver de la Ciudad de Sucre

Evaluation of noise pollution in the vicinity of the University and San Pedro Claver Hospitals in the city of Sucre

ARANCIBIA - Jose*¹ LOREDO - Tatiana²

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

² Consultor Ambiental

Recibido noviembre, 29, 2024; Aceptado diciembre, 2024

Resumen

El crecimiento urbano y demográfico global intensifica la problemática ambiental, destacando la contaminación acústica como un factor crítico en la salud pública y la calidad de vida. Esta investigación evaluó los niveles de ruido en los alrededores de dos hospitales en Sucre, Bolivia: el Hospital Universitario y el Hospital San Pedro Claver.

Las mediciones se realizaron utilizando la Norma Boliviana NB 62006 en una cuadrícula de 20x20 metros, con cuatro puntos georreferenciados por hospital, totalizando ocho puntos. Los datos se recolectaron durante cuatro días (lunes, martes, viernes y sábado) en horarios matutinos y vespertinos. Los resultados revelaron que solo cuatro de los ocho puntos de medición cumplían con el límite máximo permitido de 55 dB(A), establecido por la Ley 1333 (anexo 6) y el RASIM (anexo 12-C). El Hospital Universitario registró un máximo de 70 dB(A), atribuido principalmente al tráfico vehicular intenso. Por su parte, la entrada principal del Hospital San Pedro Claver alcanzó 58.2 dB(A). En general, ninguno de los puntos evaluados cumplió consistentemente con la normativa vigente.

Una encuesta a personal hospitalario y residentes aledaños mostró que el 80% percibe el ruido como una afectación a la calidad de vida, el 92% lo considera un contaminante, y el 86% lo asocia con enfermedades. Sin embargo, el 100% de los encuestados desconocía la normativa sobre contaminación acústica.

Se propone una estrategia integral para mitigar el ruido, combinando medidas estructurales como el reordenamiento de rutas de transporte público y la implementación de señalización de zonas con campañas de educación ambiental. Estas acciones son cruciales para reducir el impacto del ruido y mejorar el bienestar de pacientes y personal en entornos hospitalarios.

Palabras Clave: Área de Influencia, Niveles de ruido, calidad de vida, educación ambiental.

Citación: Arancibia J. Evaluación de la contaminación acústica en alrededores de los Hospitales Universitario y San Pedro Claver de la Ciudad de Sucre Revista Ingeniería Sostenible Ambiental 2024,1(2),51-114

Abstract

Global urban and demographic growth intensifies environmental challenges, with noise pollution emerging as a critical factor affecting public health and quality of life. This study evaluated noise levels in the vicinity of two hospitals in Sucre, Bolivia: the University Hospital and San Pedro Claver Hospital.

Measurements were conducted following the Bolivian Standard NB 62006 within a 20x20 meter grid, with four georeferenced points per hospital, totaling eight sampling sites. Data collection occurred over four days (Monday, Tuesday, Friday, and Saturday) during morning and afternoon periods. Results indicated that only four of the eight measurement points complied with the maximum permissible noise limit of 55 dB(A), as established by Law 1333 (Annex 6) and RASIM (Annex 12-C). The University Hospital registered a peak noise level of 70 dB(A), primarily attributed to heavy vehicular traffic, while the main entrance of San Pedro Claver Hospital reached 58.2 dB(A). Overall, none of the points consistently met the current regulatory standards.

A survey conducted among hospital staff and nearby residents revealed that 80% perceive noise as detrimental to quality of life, 92% consider it a pollutant, and 86% associate it with health problems. However, 100% of respondents were unaware of existing noise pollution regulations.

An integrated noise mitigation strategy is proposed, combining structural measures such as the reorganization of public transport routes and the implementation of zone-specific signage with environmental education campaigns. These actions are essential to reduce noise impact and enhance the well-being of patients and staff within hospital environments.

Keywords: Area of influence, noise levels, quality of life, environmental education

Introducción

La contaminación acústica, definida como la presencia de sonido no deseado o molesto, emerge como una preocupación ambiental crítica globalmente. Su proliferación se atribuye a la expansión urbana descontrolada, el aumento del tráfico vehicular, la densificación poblacional y ciertos hábitos culturales, que colectivamente deterioran la calidad de vida y el bienestar humano (Alconz, 2019). A diferencia de otras formas de contaminación, su naturaleza difusa la convierte en un desafío de control particular, impactando directamente la salud auditiva, la calidad de vida, el equilibrio ecosistémico y el derecho a un ambiente sano (Muerza, 2014).

Más allá del impacto humano, la contaminación acústica afecta profundamente la fauna, alterando patrones de comportamiento natural y dificultando la comunicación, especialmente en entornos marinos. En Bolivia, los ruidos molestos derivan principalmente de actividades humanas como el transporte, la construcción y la industria, generando efectos fisiológicos y psicológicos adversos en la población.

A pesar de la creciente problemática, existe una escasez de investigaciones específicas sobre los niveles de ruido en entornos hospitalarios. Esta investigación busca subsanar dicha deficiencia, enfocándose en cuantificar los niveles de presión sonora (NPS) en las áreas externas del Hospital Universitario II Nivel y el Hospital San Pedro Claver II Nivel en Sucre, Bolivia. El objetivo es evaluar el ruido ambiental generado por fuentes fijas y móviles y compararlo con los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), de 55 dB(A), y la Ley de Medio Ambiente N° 1333 en su Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica (RMCA), que permite hasta 68 dB(A).

Estudios previos en Sucre, como el de Murillo y Vargas, han reportado promedios globales de ruido de 82.05 dB(A) para fuentes móviles en el mercado central, excediendo significativamente el umbral de salud de 55 dB(A). Este antecedente resalta la urgencia de investigar la exposición al ruido en zonas sensibles como los hospitales.

La prevalencia de altos niveles de ruido en el área de estudio, exacerbada por la falta de regulación y control efectivo, subraya la necesidad de implementar medidas preventivas y correctivas para salvaguardar el bienestar de pacientes, personal hospitalario y residentes adyacentes.

Materiales y métodos

Para la evaluación de la contaminación acústica en los entornos hospitalarios, se empleó una metodología mixta que combinó enfoques teóricos y empíricos, apoyándose en diversas técnicas e instrumentos.

Métodos Teóricos

Análisis documental

Se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica de literatura, normativas y estudios previos relacionados con la evaluación y el control de la contaminación acústica, específicamente en entornos hospitalarios. Esta etapa fue crucial para contextualizar el problema, identificar las mejores prácticas y fundamentar el marco teórico de la investigación.

Método histórico-lógico

Este método permitió rastrear la evolución de la investigación en contaminación acústica y los antecedentes de estudios similares en la región, proporcionando una base comparativa para los hallazgos actuales y facilitando la identificación de tendencias y vacíos de conocimiento.

Métodos empíricos

Observación científica

Se llevaron a cabo visitas de campo a las zonas de estudio (Hospital Universitario II Nivel y Hospital San Pedro Claver II Nivel) para una percepción directa de las actividades cotidianas, la dinámica socioeconómica y las condiciones ambientales circundantes. Se utilizaron guías de observación estructuradas para documentar factores relevantes que pudieran influir en los niveles de ruido.

Técnicas e Instrumentos

Búsqueda y análisis de publicaciones científicas, legislación ambiental (Ley N° 1333, normativas de salud y medio ambiente) reportes sobre el derecho a la salud y a un medio ambiente sano.

Encuestas y Entrevistas: Se diseñaron cuestionarios para recabar la percepción y el conocimiento sobre la contaminación acústica en el personal de salud, pacientes y población aledaña. Se aplicaron encuestas estructuradas y entrevistas semi-estructuradas.

Tamaño de muestra para encuestas: La muestra de encuestados y entrevistados fue seleccionada estratégicamente para asegurar una representación significativa de la población total, incluyendo personal de salud, pacientes y residentes de las áreas de influencia hospitalaria. Este enfoque permitió obtener una visión representativa con eficiencia en costos y tiempo

Planillas de Registro: Formatos estandarizados para la tabulación y organización de los datos de monitoreo de ruido.

Sistema de Posicionamiento Global (GPS): Utilizado para la georreferenciación precisa de cada punto de medición

Cámara Fotográfica: Para el registro visual de las condiciones del sitio y las fuentes de ruido predominantes.

Sonómetro TSI QUEST SE-402: Instrumento de precisión para la medición directa de los niveles de presión sonora (dB(A)) en los puntos de monitoreo designados durante los periodos establecidos.

Medición de niveles de presión sonora (NPS)

Este fue el componente central del método empírico. Se realizaron mediciones cuantitativas de los niveles de presión sonora en puntos estratégicos predefinidos alrededor de ambos hospitales. Los datos obtenidos se compararon rigurosamente con los límites permisibles establecidos por la Norma Boliviana NB 62006, el Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica (RMCA) y el Reglamento Ambiental del Sector Industrial Manufacturero (RASIM Anexo 12-C).

Las mediciones de ruido en los hospitales Universitario y San Pedro Claver de la ciudad de Sucre, se realizaron con un sonómetro integrador tipo 2, sonómetro TESTO ES-402, siguiendo los siguientes pasos:

Se utilizó el mapa de ubicación de los puntos de medición para colocar el sonómetro en lugar indicado.

Se midió la distancia entre el punto de medición y la fachada, con el fin de determinar si era necesario realizar la corrección establecida en la norma ISO 1996-2, todos los puntos de medición se posicionaron a una distancia mayor de 2 metros de cualquier superficie reflectante.

Se encendió el sonómetro y se dirigió el micrófono con la pantalla antiviento puesto, en dirección a las vías públicas.

Se sujetó el sonómetro con el brazo extendido a una distancia de 0,5 m del técnico y acompañante y una altura de 1,5 metros de altura del nivel del suelo.

Se configuró el sonómetro del tiempo de respuesta fast a Slow.

Se configuró el rango de medición en 30 – 130 dB.

Se configuró el sonómetro con la curva de ponderación A (dBA)

Se configuró el sonómetro para que registre niveles de presión sonora equivalentes, máximo y mínimo.

Se registraron los datos de la medición en lapsos de un minuto, registrando los valores de medición (Leq), máximo (Lmax) y mínimo (Lmin).

Se realizó la medición durante un lapso de tiempo de 15 minutos continuos.

Nota: La medición debe ser suspendida en caso de lluvia, granizo o tormenta.

Terminada la medición en el punto designado, se procedió a dirigirse hasta el siguiente punto de medición y repetir el procedimiento.

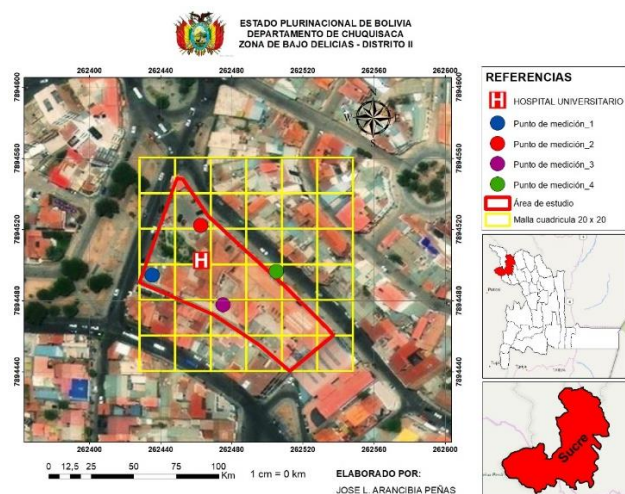
Metodología para la ubicación de los puntos (puntos de medición externo)

Para definir los puntos de medición, se utilizó la siguiente metodología:

Metodología de la cuadrícula: La definición de puntos de medición se determina mediante la superposición sobre el plano de una retícula cuyas cuadrículas tienen dimensiones proporcionales a la superficie del área.

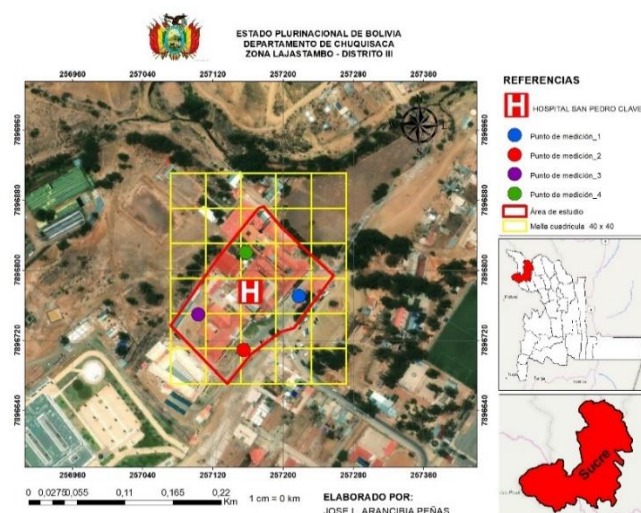
Una vez obtenido el punto central y establecido el tipo de metodología que se usará para la selección de puntos, se prosiguió a realizar la división por cuadrantes en las zonas colindantes a los hospitales Universitario y San Pedro Claver (norte, sur, este y oeste). Mediante el método de la cuadrícula, partiendo desde el punto central hacia el perímetro del hospital Universitario siguiendo la dirección de las calles y/o avenidas, se superpuso el plano de la zona una retícula de 20 x 20 metros, obteniendo 36 cuadrantes de 400 m² sobrepuesto en el área de estudio del hospital Universitario. Estos puntos fueron situados preferentemente en el centro de cada cuadrante, priorizando su ubicación en vías importantes dentro de las cuadrículas siempre que fuera posible. Como resultado, se definieron un total de 4 puntos de medición. (Ver Mapa 1)

Mapa 1: Ubicación de los puntos de medición de ruido ambiental – H. Universitario



Para el hospital San Pedro Claver, se aplicó de la misma manera el método de la cuadrícula, partiendo desde el punto central hacia el perímetro del área de estudio, siguiendo las direcciones de las calles y/o avenidas cercanas. En este proceso, se superpuso un plano de la zona con una retícula de 40 x 40 metros, lo que resultó en la obtención de 30 cuadrantes de 1.600 m² cada uno, distribuidos sobre el área de estudio del hospital. y se seleccionaron los puntos de medición de ruido preferentemente dentro de estos, priorizando su ubicación en vías principales con mayor flujo vehicular durante las 24 horas del día, los 7 días de la semana. Como resultado, se establecieron un total de 4 puntos de medición. (Ver mapa 2)

Mapa 2: Ubicación de los puntos de medición de ruido ambiental – H. San Pedro Claver



Una vez definido los puntos donde se realizarán las mediciones de ruido ambiental, se realizó la ubicación del sitio de medida en campo, de tal manera que sea fácilmente relocalizado. Para tal efecto se realizó un recorrido real, para garantizar que los puntos de monitoreo cumplan con los parámetros de medición adecuado, razón por la cual se procedió a reubicar los puntos que a si se requerían tomando su ubicación real con la ayuda del GPS para posteriormente georreferenciar con ayuda del ArcGIS.

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).

Cronograma de medición de ruido

Las mediciones de ruido ambiental se realizaron en fecha 4, 5, 8 y 9 de marzo del 2024. Las mediciones se realizaron en los horarios considerados en el Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero RASIM en su anexo 12-C, las mediciones se realizaron en base a lo establecido en la NB 62006.

En la siguiente tabla se detalla el cronograma de medición:

Tabla 1: Cronograma de medición de ruido

Horario Diurno	MES MARZO															
DIAS	Lunes				Martes				Viernes				Sábado			
Mañana	Hospital San Pedro Claver				Hospital Universitario				Hospital San Pedro Claver				Hospital Universitario			
Punto	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
08:30 - 08:45																
09:00 - 09:15																
09:30 - 09:45																
10:00 - 10:15																
Tarde	Hospital Universitario				Hospital San Pedro Claver				Hospital Universitario				Hospital San Pedro Claver			
Punto	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
12:30 - 12:45																
13:00 - 13:15																
13:30 - 13:45																
14:00 - 14:15																

Resultados

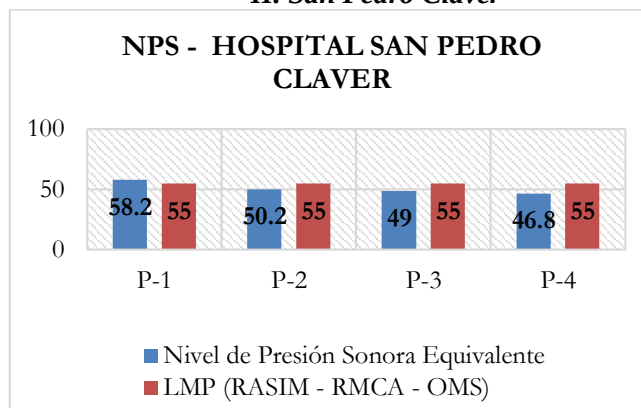
De acuerdo con el monitoreo ambiental realizado en los puntos previamente seleccionados en ambos hospitales objeto de estudio, y considerando la información proporcionada por residentes, personal de salud y administrativo, se verificó que tanto el Hospital San Pedro Claver como el Hospital Universitario operaban bajo condiciones normales durante el periodo de medición. Para cada hospital se establecieron cuatro (4) puntos de monitoreo, sumando un total de ocho (8) puntos evaluados. Cabe destacar que las mediciones se efectuaron en ausencia de precipitaciones, tales como lluvia o granizo, a fin de evitar interferencias en los resultados.

Los datos obtenidos revelan que, de los ocho puntos monitoreados, cuatro presentaron niveles de ruido ambiental dentro de los valores máximos permisibles establecidos por la Ley 1333 – RMCA (anexo 6), el RASIM (anexo 12-C) y las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Sin embargo, los otros cuatro puntos excedieron dichos límites, lo que evidencia la necesidad de implementar estrategias de mitigación y control del ruido en las áreas identificadas con sobrepaso de los umbrales normativos.

N°	Zona de muestreo		Nivel de presión sonora equivalente dB(A)	Evaluación	Límite máximo permisible Anexo 12 C	Límite máximo permisible RMCA	Límite máximo Permissible OMS
1	Hospital San Pedro Claver	Entrada Principal (área de ambulancias)	58,2	no cumple	55 dB(A)	55 dB(A)	55 dB(A)
2		Entrada principal	50,2	cumple			
3		Parte trasera (Área de estacionamiento 2)	49,0	cumple			
4		Parte trasera	46,8	cumple			
5	Hospital Universitario	Calle Adolfo Vilar, entrada principal	65,4	no cumple	55 dB(A)	55 dB(A)	55 dB(A)
6		Calle Adolfo Vilar, entrada principal	59,0	no cumple			
7		Parte trasera derecho	53,6	cumple			
8		Calle Daniel Bustamante.	70	no cumple			

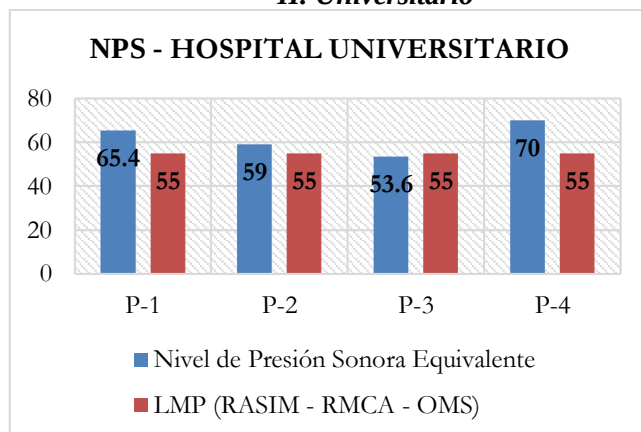
Análisis de nivel presión sonora vs límite permisible (RASIM-RMCA-OMS)

Gráfico 1: NPS vs lim. permisible (RASIM-RMCA-OMS) – H. San Pedro Claver



De acuerdo a los resultados de medición, los tres puntos (P-2; P-3; P-4) de monitoreo se encuentran dentro de los valores máximos permisibles que se establece en la Ley 1333 – RMCA su anexo 6, RASIM su anexo 12-C y la OMS. Además, se observa que el punto 1 muestra el más alto NPS que sobre pasa los límites permisibles con 58,2 dB(A), debido que es la entrada principal del hospital, por tanto, la salida y llegada de personas visitantes como personal del hospital emite gran cantidad de ruido.

Gráfico 2: NPS vs lim. permisible (RASIM-RMCA-OMS) – H. Universitario



Se identificaron fuentes generadoras de ruido y receptores en el área de influencia del hospital, los resultados obtenidos que representan los promedios de los niveles de presión sonora en los cuatro puntos de medición.

Al comparar estos resultados con los límites permisibles de 55 dB(A) según el Anexo 12 C de RASIM, la Ley 1333 – RMCA su anexo 6 y la OMS, se observa que (P-3) está por debajo del límite permisible y (P-1; P-2; P-4) de los puntos de medición presentan mediciones que sobrepasan este límite ya que el hospital cuenta como fuente principal de ruido la circulación y tráfico vehicular, salida y llegada de personas visitantes, personal del hospital. Asimismo, ruido emitido debido a conversación de personas.

Medidas de prevención, mitigación y educación ambiental para reducir el ruido

Un entorno hospitalario óptimo es aquel que propicia la curación, el descanso y la recuperación del paciente. Dentro de sus múltiples dimensiones, la gestión acústica emerge como un factor crítico, con una influencia directa sobre el bienestar del paciente y la eficacia de los tratamientos. La mitigación del ruido no es una característica deseable, sino un requisito fundamental para garantizar un ambiente terapéutico y reducir el estrés asociado a la hospitalización. Por ende, la formulación e implementación de un plan de gestión de ruido debe ser abordada con la máxima prioridad.

Tabla 3 Medidas propuestas para el hospital Universitario

Nº	Medidas	Código	Prioridad
1	Restricción del tránsito de vehículos pesados	RV - 01	media
2	Reordenar las rutas de taxis y micros	RR - 02	media
3	Regulación del servicio de transporte menor (motos)	RM 03	media
4	Implementación de señalética y reductores de velocidad	SR - 04	alta
5	Campañas de sensibilización	CS - 05	alta
6	Divulgación y comunicación	DC - 06	alta

Tabla 4 Medidas propuestas para el hospital San Pedro Claver

Nº	Medidas	Código	Prioridad
1	Reordenar los paraderos de taxis y colectivos	RP - 01	media
2	Implementación de señalética y reductores de velocidad	SR - 04	alta
3	Campaña de sensibilización y Educación Ambiental.	CS - 05	alta
4	Divulgación y comunicación	DC - 06	alta

Evaluación técnica para el hospital Universitario

Para garantizar la efectividad y viabilidad de las medidas de prevención, mitigación y educación propuestas para el control del ruido hospitalario, se llevó a cabo una evaluación técnica detallada. Esta evaluación consideró factores críticos como el impacto potencial en la salud del paciente, el tiempo de implementación y la gestión de recursos necesarios para su ejecución.

El método empleado para esta evaluación fue una matriz de decisión multicriterio. Esta herramienta permitió integrar de manera sistemática los criterios más relevantes para la aceptación o rechazo de aquellas medidas cuya factibilidad técnica presentaba algún grado de incertidumbre. A cada criterio se le asignó un peso (P), reflejando su importancia relativa, y un valor (V), indicando el desempeño de la medida en relación con dicho criterio. Las medidas fueron rechazadas si la valoración total obtenida era baja, lo que indicaba una baja factibilidad o un impacto negativo significativo. Este enfoque proporciona una base objetiva para la selección de las intervenciones más apropiadas.

Calificación de las medidas propuestas

Se procede a realizar la calificación de cada uno de las medidas propuestas, para ello se empleará una escala de 1 a 5. Donde, 1 indica la opción menos conveniente y el número 5 la opción más conveniente.

La matriz utiliza criterios clave para evaluar cada opción, ponderando la importancia relativa de cada aspecto.

Tabla 5: Matriz de decisión para la determinación de la factibilidad técnica – H. Universitario

Criterio	P	RV-01		RR-02		RM-03		SR-04		CS-05		DC-06	
		V	P* V	V	P* V	V	P* V	V	P* V	V	P* V	V	P* V
Efectividad en reducción de ruido	5	4	20	3	15	3	15	3	15	2	10	2	10
Costo de implementación	5	4	20	3	15	4	20	4	20	4	20	4	20
Impacto en las operaciones del hospital	4	4	16	3	12	4	16	4	16	4	16	4	16
Facilidad de implementación	4	4	16	3	12	4	16	4	16	4	16	4	16
Mantenimiento y sostenibilidad	3	3	9	2	6	3	9	2	6	3	9	3	9
Total			81		60		76		73		71		71

Peso (P) según su importancia esto permitirá cual es más importante. Este peso se asigna mediante números. si usamos una escala de 1 a 5. el numero 5 será considerado con mayor peso y el 1 con menor peso o relevancia.

Explicación de los criterios

Efectividad en la reducción del ruido: Este criterio evalúa el impacto directo que la medida tiene en la disminución de los niveles de ruido en el entorno hospitalario. Las medidas que eliminan o reducen fuentes significativas de ruido obtendrán una puntuación más alta.

Costo de implementación: Refleja los costos iniciales relacionados con la puesta en marcha de la medida, como la instalación de infraestructura, tecnología o campañas de concienciación.

Impacto en las operaciones del hospital: Evalúa en qué medida la implementación de la medida afecta la operación cotidiana del hospital, incluyendo el acceso de pacientes, personal y servicios de emergencia.

Facilidad de implementación: Considera la viabilidad técnica y logística de poner en práctica la medida, así como la necesidad de obtener permisos especiales o realizar cambios estructurales importantes.

Mantenimiento y sostenibilidad: Analiza si la medida requiere mantenimiento constante y si es sostenible a largo plazo en términos financieros y operacionales.

Evaluación técnica para el hospital San Pedro Claver.

Para evaluar la viabilidad técnica de las medidas propuestas para la reducción del ruido ambiental en el Hospital San Pedro Claver, también se empleó una matriz de decisión. Esta herramienta permitió comparar sistemáticamente cada alternativa en función de su factibilidad técnica y operativa, considerando criterios como la complejidad de implementación, los requerimientos de permisos regulatorios y el grado de compatibilidad con la infraestructura hospitalaria existente. Este enfoque facilita la identificación de las opciones más adecuadas para una gestión acústica eficiente y sostenible en el entorno hospitalario.

Tabla 6: Matriz de decisión para la determinación de la factibilidad técnica – H. San Pedro Claver

Criterio	P	R P- 01		SR- 04		CS- 05		DC -06	
		V	P * V	V	P * V	V	P * V	V	P * V
Complejidad de implementación	5	3	15	4	20	4	20	4	15
Requerimientos de permisos	5	3	15	4	20	4	20	4	20
Integración con Infraestructura existente	4	3	15	4	16	4	16	4	16
Impacto en operaciones	3	4	12	4	12	4	12	4	12
Durabilidad y mantenimiento	3	3	9	4	12	3	9	3	9
Total			66		80		77		77

Criterios explicados

Complejidad de implementación: Evalúa el nivel de dificultad para implementar la medida, incluyendo la necesidad de planificación.

Requerimientos de permisos: Considera si la medida requiere permisos especiales o aprobaciones de autoridades locales.

Integración con infraestructura existente: Mide cómo la medida se adapta a la infraestructura actual sin requerir modificaciones extensas.

Impacto en operaciones: Analiza cómo la implementación afectará las operaciones diarias.

Durabilidad y mantenimiento: Evalúa la durabilidad de la medida.

Discusión

La georreferenciación y caracterización del área de influencia en torno a los hospitales Universitario y San Pedro Claver evidencian que una de las principales fuentes de ruido ambiental proviene del intenso tráfico vehicular.

Entre las fuentes destacan motocicletas con escapes libres, el uso frecuente de bocinas en vehículos particulares y micros, y el acceso habilitado para transporte público y vehículos particulares hacia los hospitales. Además, la proximidad de establecimientos comerciales, restaurantes, unidades educativas y zonas comerciales contribuye significativamente a la generación de ruido, especialmente debido a su cercanía con las áreas hospitalarias.

Se identificaron cuatro puntos críticos de influencia sonora para cada hospital, donde se realizaron mediciones preliminares que confirmaron niveles de ruido que en varios casos superan los límites máximos permisibles establecidos en la normativa local y recomendaciones internacionales. Esta situación resalta la necesidad de implementar medidas integrales para la gestión del ruido ambiental en estos entornos sensibles.

Asimismo, se detectó una carencia de campañas de concientización dirigidas a conductores, comerciantes, transeúntes y personal hospitalario sobre la prevención y mitigación del ruido ambiental. La educación ambiental emerge como un componente esencial para fomentar conductas que contribuyan a la reducción del ruido.

La solución más equilibrada y efectiva para mitigar la contaminación acústica en los hospitales combina intervenciones estructurales y educativas. Entre las medidas estructurales destacan el reordenamiento de rutas de transporte público, la restricción del tránsito de vehículos pesados, la regulación del uso de motocicletas y la instalación de señalización y reductores de velocidad. Estas acciones, complementadas con campañas de sensibilización, permitirán una reducción sostenida del ruido y mejorarán el bienestar de pacientes, personal y la comunidad circundante. Es importante señalar que, hasta la fecha, el Gobierno Autónomo Municipal de Sucre no cuenta con estudios específicos sobre contaminación acústica en hospitales de la ciudad, lo que limita la formulación de políticas públicas dirigidas a este problema.

Por ello, la evaluación del nivel de ruido ambiental en las zonas hospitalarias es un paso fundamental para el diseño e implementación de estrategias de control y mitigación que garanticen el cumplimiento de los márgenes admisibles para la salud pública.

La gestión del ruido en los hospitales Universitario y San Pedro Claver es esencial para proporcionar un ambiente adecuado para la recuperación de los pacientes. El plan propuesto incluye la restricción del tránsito de vehículos pesados, el reordenamiento de rutas de taxis y transporte público, la regulación del tránsito de motocicletas, y la implementación de señalización y reductores de velocidad. Además, se promueven campañas de sensibilización y educación ambiental para concienciar sobre los efectos nocivos del ruido en la salud.

La evaluación técnico-económica de las medidas indica que la combinación de restricción vehicular y señalización representa la solución más efectiva y sostenible. En el Hospital Universitario, la restricción del tránsito de vehículos pesados se destaca como la alternativa más viable técnica y económicamente, dado que reduce significativamente los niveles de ruido con costos moderados. Esta medida, complementada con la regulación del tránsito de motocicletas y la instalación de señalización y reductores de velocidad, contribuirá a crear un entorno hospitalario más tranquilo y seguro. Para el Hospital San Pedro Claver, la reubicación de paraderos de taxis y colectivos, aunque requiere planificación y permisos, puede disminuir notablemente la contaminación acústica en el área. En conclusión, la implementación coordinada de medidas estructurales y educativas, con el respaldo de las autoridades municipales, departamentales y nacionales, es indispensable para mitigar la contaminación acústica en las zonas hospitalarias de Sucre, mejorando así la calidad de vida de pacientes, trabajadores de la salud y la comunidad en general.

Conclusiones

En este estudio se establecieron las tendencias teóricas relacionadas con la contaminación acústica en los hospitales Universitario y San Pedro Claver de la ciudad de Sucre, a partir de la recopilación exhaustiva de información proveniente de fuentes especializadas, incluyendo literatura académica, artículos científicos, sitios web relevantes y visitas de campo a ambos centros hospitalarios.

Se logró medir, representar y evaluar los niveles de presión sonora en los puntos estratégicos identificados en ambos hospitales, aplicando una metodología rigurosa alineada con los objetivos planteados y conforme a la normativa nacional vigente, con el fin de garantizar la protección de la salud pública en el área de estudio.

Los resultados indican que, en el Hospital San Pedro Claver, el punto 1 —ubicado en la entrada principal— registró el nivel de presión sonora más alto, con 58,2 dB(A), superando los límites permisibles establecidos. En contraste, en el Hospital Universitario, el punto 3 presentó un nivel dentro de los límites aceptables, con 53,6 dB(A). No obstante, los puntos 1 (65,4 dB(A)), 2 (59 dB(A)) y 4 (70 dB(A)) excedieron los niveles máximos permitidos, atribuible a la alta circulación vehicular a gran velocidad y la concentración de personas que transitan hacia el mercado campesino y las unidades educativas cercanas. Estos hallazgos evidencian la necesidad imperante de implementar medidas efectivas para la reducción de la contaminación acústica en ambos hospitales.

La gestión integral del ruido en los hospitales Universitario y San Pedro Claver es fundamental para proporcionar un ambiente adecuado que favorezca la recuperación de los pacientes. En este sentido, se propone un plan de acción que contempla la restricción del tránsito de vehículos pesados, el reordenamiento de rutas de taxis y transporte público, la regulación del tránsito de motocicletas, así como la instalación de señalización y reductores de velocidad.

Complementariamente, el plan promueve campañas de sensibilización y educación ambiental dirigidas a conductores, comerciantes, personal hospitalario y comunidad en general, con el objetivo de concienciar sobre los efectos adversos del ruido en la salud.

Referencias

- A. Ojala, K. Korpela, L. Tyrväinen, P. Tiittanen, and T. Lanki, "Restorative effects of urban green environments and the role of urban-nature orientedness and noise sensitivity: A field experiment", *Health & Place*, vol. 55, pp. 59-70, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.11.004>
- Alconz, M. F. (2019). *Influencia de la Intensidad del Ruido en la Frecuencia Cardiaca*. LA PAZ – BOLIVIA: Tesis de grado para optar al Grado de Magister en Enfermería Terapia Intensiva.
- Avilés, H. G. (2005). *Evaluación de la Contaminación Acústica por fuentes móviles en el distrito 1 del municipio de Sucre*. proyecto de Grado.
- Azañedo Alva, J. N., & Esquen Diaz, G. F. (Marzo de 2019). Evaluación de la Contaminación Sonora en le distrito de la Esperanza, Provincia de Trujillo. Trujillo, Perú.
- Beizaga, G. M. (2022). *Evaluación de los niveles de contaminación acústica generadas por fuentes fijas a través de monitoreos estandarizados en industrias KANTUTA S.R.L*. Universidad Mayor Real y Pontificia San Francisco Xavier de Chuquisaca.
- Ceballos-Cogollo, J. D., & Acevedo-Buitrago, B. . (2021). Evaluación de la contaminación acústica en zonas aledañas a entornos sensibles en la ciudad de Bogotá y su relación con el uso del suelo. *Respuestas*, 26(1), 181–191. <https://doi.org/10.22463/0122820X.2942>
- Foronda, D. M. (2021). Evaluación de la Contaminación Acústica en el Distrito 1 de la ciudad de Sucre - Chuquisaca. Proyecto de Grado.
- GESAMBCONSULT. (Noviembre de 2012). *Areas de Influencia*. Obtenido de https://www.jbic.go.jp/ja/business-areas/environment/projects/pdf/56262_4.pdf
- Giraldo, S. K. (12 de Diciembre de 2011). Caracterización y estimación de emisiones vehiculares en la universidad autónoma de occidente. proyecto de grado. Santiago de Cali, Colombia.
- Gobierno Autonomo Municipal de Sucre. (2016-2020). Plan Territorial de Desarrollo Integral (P.T.D.I.). GAMS.
- Gracia, T. T. (18 de Septiembre de 2018). Evaluación de los Niveles de Pesión Sonora (Ruido Ambiental) en tres (3) Hospitales de la localidad de Kennedy, ubicados en la UPZ 47 y en la UPZ 48 entre la Calle 22 Sur 8Avenida Primera de Mayo) y la Carrera 80. Obtenido de repository.unilibre: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/15881/Documento%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ibarra, T. A. (2017). La contaminación acústica en los alrededores del Hospital Gineco-Obstétrico Isidro Ayora y su incidencia en los derechos del Buen Vivir en el Distrito Metropolitano de Quito, año 2016.
- IBNORCA, NB 62005. (Septiembre de 2005). "Calidad del aire - Ruido ambiental - Vocabulario". Emisiones de fuentes fijas. Bolivia: Instituto Boliviano de Normalizacion y Calidad.
- IBNORCA, NB 62006. (2005). Calidad del aire - Emisiones de fuentes fijas - Determinación de niveles de presión sonora - Equipo de medición.

- Ley General de Higiene, Seguridad Ocupacional y Bienestar. (02 de agosto de 1979). Ley General de Higiene, Seguridad Ocupacional y Bienestar - Decreto Ley N°16998. Obtenido de amdepo.org: <https://amdepo.org.bo/wp-content/uploads/2020/10/Ley-General-de-higiene-y-Seguridad-Ocupacional-y-bienestar-Decreto-Ley-16998.pdf>
- Miraya, F. (08 de noviembre de 1995). La contaminación Acústica en los establecimientos hospitalarios de rosario. Obtenido de fceia.unr: <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/hospital.htm>
- Muerza, A. F. (10 de abril de 2014). Consumer. Obtenido de Medio Ambiente y Solidaridad: <https://www.consumer.es/medio-ambiente/los-problemas-ambientales-que-deberian-preocuparnos.html>
- N. Kuehnel and R. Moeckel, “Impact of simulation-based traffic noise on rent prices”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 78, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.11.020>
- Obando, L., & Cabrera, F. J. (2017). “Evaluación de los Niveles de Ruido Ambiental en las principales zonas comerciales de la Ciudad de Trujillo”. Trabajo de Investigación para optar el Título de Ingeniero Ambiental.
- OMS. (2015). Documento de la OMS para unas prácticas auditivas responsables: Escuchar sin Riesgos. FIAPAS.
- RASIM. (2002). Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero (Límites Permisibles de Emisión de Ruidos). Gaceta Oficial.
- Román, G. (05 de Julio de 2018). Evaluación de los niveles de ruido ambiental en el casco urbano de la ciudad de Tarija, Bolivia. Obtenido de scielo.org: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892018000100009
- UCSM. (2022). Guía de prácticas curso Contaminación y Análisis de Calidad Ambiental: Aire - Agua. Obtenido de studocu.com: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-mayor-de-san-marcos/fisica-1/practica-n01-sonometro/53698360>

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>

