



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE SAN MARTÍN

Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas

Volumen 2, Número 1, Año 2023

Editorial:

**Cuidado del medio ambiente como
estrategia para asegurar estándares
sostenibles de calidad de vida**



REACAE

Volumen 2 • Número 1 • Enero - Junio 2023



Fondo Editorial
Universidad Nacional de San Martín

© **Universidad Nacional de San Martín**

Facultad de Ecología

Jr. Maynas N° 177, Tarapoto –Perú

Editor

Fondo Editorial

Editorial:

Universidad Nacional de San Martín

Volumen 2, Número 1, Año 2023

DOI: 10.51252/reacae

e-ISSN: 2810-8817

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2023-XXXX

Tarapoto, San Martín, Perú, Enero 2023

Volumen 2 • Número 1 • Enero – Junio 2023

Tarapoto, Perú

DOI: 10.51252/reacae

e-ISSN: 2810-8817

REACAE. Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas es una revista de divulgación científica de acceso abierto editada por el Fondo Editorial de la Universidad Nacional de San Martín, en colaboración con la Facultad de Ecología. Tiene como misión divulgar el conocimiento producido por la comunidad académico-científica en las áreas de Ciencias del medio ambiente, Investigación climática, Ecología, Hidrología y Recursos del Agua. La revista tiene como objetivo publicar artículos originales e inéditos de gran relevancia para la sociedad, de forma semestral en español.

Editor Jefe

Dr. Miguel Angel Valles Coral, Universidad Nacional de San Martín, Perú

Director Asociado

Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza, Universidad Nacional de San Martín, Perú

Comité editorial

Dr. Ronald Fernando Rodriguez Espinoza, Universidad Autónoma del Perú, Perú

Ing. Mg. Adolfo Enrique Guerrero Escobedo, Universidad Nacional de Trujillo, Perú

Ing. Marcos Salas Guerrero, Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas - SERNANP

Comité científico

Ing. Dante Daniel Cruz Nieto, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Perú

Lic. Mg. Santos Ricardo Celis Rojas, Universidad Nacional de Barranca, Perú

Dr. Adolfo Alfredo Arana Sánchez, Universidad Autónoma Del Perú, Perú

Ing. Julio Santiago Chumacero Acosta, Universidad Nacional de San Martín, Perú

Dra. Olga Giovanna Valderrama Ríos, Universidad Nacional del Callao, Perú

Gestor de la revista

Ing. Juan Carlos Velasco Miseses, Universidad Nacional de San Martín, Perú

Secretario editorial

Ing. Lloy Pool Pinedo Tuanama, Universidad Nacional de San Martín, Perú

Bach. Jorge Navarro Cabrera, Universidad Nacional de San Martín, Perú

Diagramadora

Est. Kasidy Argandoña Del Aguila, Universidad Nacional de San Martín, Perú

Correctora de estilo

Bach. Itzel Garagay Mozombite, Universidad Nacional de San Martín, Perú

Índice de contenido

Editorial

- Cuidado del medio ambiente como estrategia para asegurar estándares sostenibles de calidad de vida** e492
Caring for the environment as a strategy to ensure sustainable standards of quality of life
Azabache-Liza, Y. F.

Artículos originales

- Biorremediación de suelos salinos con enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno, Cusco-Perú** e388
Bioremediation of saline soils with organic amendments of guinea pig and cattle manure, Cusco-Peru
Aimituma-Franco, K. M., Llanqui-Ticona, S. E. & Fernández-Rojas, H.

- Características de las bandejas biodegradables de almidón de papa (*Solanum phureja*) reforzadas con maíz amarillo (*Zea mays* L.) y tocón de espárrago blanco (*Asparagus officinalis*)** e430
*Characteristics of biodegradable trays of potato (*Solanum phureja*) starch reinforced with yellow corn (*Zea mays* L.) and white asparagus (*Asparagus officinalis*) stump*
Cabrera-Guevara, C., Diaz-Hidrogo, Y., Diaz-Diaz, E. & Gamboa-Alarcón, P. W.

- Cumplimiento del derecho a un ambiente sano en relación a la percepción de material particulado en los habitantes de La Banda de Shilcayo** e392
Compliance with the right to a healthy environment in relation to the perception of particulate matter in the inhabitants of La Banda de Shilcayo
Ordóñez-Ruiz, K. M., Ordóñez-Sánchez, L. A. & Oblitas-Quiroz, V. H.

- Evaluación de la sostenibilidad socioeconómica y ecológica de los sistemas de producción orgánica y convencional del café en la cuenca del Cumbaza** e450
Evaluation of the socioeconomic and ecological sustainability of the organic and conventional production systems of coffee of the cuenca del Cumbaza
Maldonado-Vásquez, S. D., García-Bautista, A., Ordóñez-Sánchez, L. A., Alvarado-Ramírez, J. W. & Arévalo-Gardini, E.

- Efecto de coagulación-floculación en remoción del hierro y manganeso en acuífero** e464
Coagulation effect-flocculation in removal of iron and manganese in aquifer
Olano-Arévalo, R., Tuesta-Casique, A. & Azabache-Aliaga, B.

Artículo de revisión

- Retorno de la anidación de la Gaviota Filico (*Sternula antillarum*) a la bahía El Saco, isla de Coche, Venezuela** e417
*Return of nesting Filico Gull (*Sternula antillarum*) to El Saco Bay, Coche Island, Venezuela*
Silva-Rojas, S. R. & Traviezo-Valles, L. E.



Cuidado del medio ambiente como estrategia para asegurar estándares sostenibles de calidad de vida

Caring for the environment as a strategy to ensure sustainable standards of quality of life

Azabache-Liza, Yrwin Francisco^{1*}

¹Facultad de Ecología, Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba, Perú

Recibido: 10 Ene. 2023 | **Aceptado:** 17 Ene. 2023 | **Publicado:** 20 Ene. 2023

Autor de correspondencia*: yfazabache@unsm.edu.pe

Como citar este artículo: Azabache-Liza, Y. F. (2023). Cuidado del medio ambiente como estrategia para asegurar estándares sostenibles de calidad de vida. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(1), e492. <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.492>

EDITORIAL

En el contexto amazónico, antigua capital de Maynas, en el frondoso valle del Alto Mayo, ciudad de Moyobamba, se encuentra la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, la misma que durante los años de funcionamiento viene logrando mucho en diversos aspectos; en la actualidad muestra una infraestructura moderna e implementada, a esto agregamos, un terreno saneado de más de 200 hectáreas denominado Pablo Yacu que posibilita garantizar la calidad de aprendizaje de los estudiantes en las diferentes escuelas profesionales. La Facultad, en cumplimiento a su naturaleza, viene promoviendo la investigación en temas ambientales y sanitarios, por ello, a través de la Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas, se busca difundir los resultados encontrados en esa búsqueda rigurosa y continúa orientada a la lectura, análisis, réplica e implementación de artículos científicos a partir de investigaciones realizadas en diversas líneas y espacios.

En tanto, deseosos de seguir impulsando la búsqueda de los nuevos conocimientos, presentamos esta nueva edición como aporte a la cultura regional, nacional y mundial, que comprende investigaciones del nororiente y suroriente peruano, como el estudio del efecto de coagulación – floculación en remoción del hierro y manganeso en acuífero, la evaluación de la sostenibilidad socioeconómica y ecológica de los sistemas de producción orgánica y convencional del café en la cuenca del río Cumbaza, la caracterización de bandejas biodegradables de almidón de papa (*Solanum phureja*) reforzadas con maíz amarillo (*Zea mays L.*) y tocón de espárrago blanco (*Asparagus officinalis*), el estudio del cumplimiento del derecho a un ambiente sano en relación a la percepción de material particulado en los habitantes del distrito de La Banda de Shilcayo, y la biorremediación de suelos salinos con enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno en Cusco. Asimismo, exponemos una nota científica respecto al retorno de la anidación de la Gaviota Filico (*Sternula antillarum*) a la bahía El Saco, isla de Coche, Venezuela.

Esta edición comunica trabajos académicos-científicos vinculados al cuidado del medio ambiente como estrategia para asegurar estándares sostenibles de calidad de vida, los mismos que fueron evaluados rigurosamente por el comité editorial y científico mediante el apoyo de revisores pares bajo la modalidad doble ciego. Auguramos que las investigaciones aportarán a la solución de problemas de la sociedad y al desarrollo de la ciencia; por lo que invitamos a los académicos o profesionales investigadores, continuar



contribuyendo al conocimiento a través de la publicación de artículos científicos en la Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe ningún tipo de conflicto de interés relacionado con la materia del trabajo.

Biorremediación de suelos salinos con enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno, Cusco-Perú

Bioremediation of saline soils with organic amendments of guinea pig and cattle manure, Cusco-Peru

 Aimituma-Franco, Katheryne Micol^{1*}

 Llanqui-Ticona, Sheyla Estefanny¹

 Fernández-Rojas, Hugo¹

¹Universidad Peruana Unión, Lima, Perú

Recibido: 30 Jun. 2022 | **Aceptado:** 11 Nov. 2022 | **Publicado:** 20 Ene. 2023

Autor de correspondencia*: micolaimituma@gmail.com

Como citar este artículo: Aimituma-Franco, K. M., Llanqui-Ticona, S. E. & Fernández-Rojas, H. (2023). Biorremediación de suelos salinos con enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno, Cusco-Perú. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(1), e388. <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.e388>

RESUMEN

La salinidad en suelos afecta gravemente a la agricultura mundial por el afloramiento y la acumulación de sales. El suelo peruano tiene cerca de 300 mil hectáreas con esta problemática, una alternativa, es la biorrecuperación por ello, la investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas (estiércol de cuy y vaca) para la biorrecuperación del suelo salino. La investigación consistió en las siguientes etapas: toma de muestras de suelo, construcción de la planta piloto, tratamiento de suelo salino, determinación de Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) y Relación de Absorción de Sodio (RAS). El diseño de investigación fue el bloque completamente aleatorio con dos repeticiones a los 30, 60, 90 días. Los resultados mostraron que el pH tuvo una mínima disminución de 8,05 hasta 7,3 la CE (Conductividad Eléctrica) logró disminuir hasta un 1,2 mmhos/cm y el PSI tuvo un porcentaje de 7% y un incremento en sus macronutrientes. En tal sentido la aplicación de enmiendas orgánicas de cuy y de vaca demostraron efectos positivos sobre el suelo salino, mostrando un efecto de biorrecuperación y mejora del suelo, obteniendo resultados favorables en las propiedades químicas y físicas del suelo.

Palabras clave: biorrecuperación; degradación; enmiendas orgánicas; parámetros fisicoquímicos

ABSTRACT

Soil salinity seriously affects world agriculture due to the upwelling and accumulation of salts. The Peruvian soil has about 300 thousand hectares with this problem, an alternative is bioremediation, therefore, the research aimed to determine the effect of applying organic amendments (guinea pig and cow manure) for the bioremediation of saline soil. The investigation consisted of the following stages: taking soil samples, construction of the pilot plant, saline soil treatment, determination of the Exchangeable Sodium Percentage (PSI) and Sodium Absorption Ratio (RAS). The research design was a completely randomized block with two repetitions at 30, 60, and 90 days. The results showed that the pH had a minimal decrease from 8.05 to 7.3, the EC (Electrical Conductivity) managed to decrease up to 1.2 mmhos/cm and the PSI had a percentage of 7% and an increase in its macronutrients. In this sense, the application of organic amendments of guinea pig and cow demonstrated positive effects on the saline soil, showing an effect of bioremediation and improvement of the soil, obtaining favorable results in the chemical and physical properties of the soil.

Keywords: bioremediation; degradation; organic amendments; physicochemical parameters

1. INTRODUCCIÓN

La salinización en los suelos es considerada uno de los problemas más graves para la agricultura a nivel mundial, presentando la acumulación de grandes cantidades de sales solubles, sodio intercambiable o ambos, de tal manera que afecta significativamente la productividad del suelo (Delgado Zambrano & Robalino Zambrano, 2017). Se estima que a nivel mundial existen aproximadamente 830 millones de hectáreas (ha) con problemas de salinización, lo que es equivalente a más del 6% del área total mundial y aproximadamente el 20% del área cultivable total (Bandera, 2013; Courel, 2019).

Un suelo salino se caracteriza generalmente como aquel en el que la conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación del suelo supera los 4 dS m⁻¹ y tiene porcentaje de sodio intercambiable menor a 15% (Zamolinski, 2000), según menciona Mata-Fernández et al. (2014) estos valores influyen en la presión osmótica, con evidentes repercusiones sobre la vegetación, interfiriendo en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Las sales en el suelo se presentan como iones (formas de átomos o compuestos cargados eléctricamente), estos son liberados por la erosión de los minerales en el suelo o también se pueden aplicar a través del agua de riego (Shrivastava & Kumar, 2015).

La salinización afecta negativamente las funciones biológicas en los ecosistemas y causa la degradación del suelo y los recursos hídricos (Manzano Banda et al., 2014), la acumulación de sales en el suelo provoca el aumento del pH y de la conductividad eléctrica (CE) del suelo causando deficiencias nutricionales y toxicidad por iones como el Na⁺ por lo que en estos suelos la vegetación es escasa o nula (Simanca Fontalvo & Cuervo Andrade, 2018). Asimismo, se reduce la infiltración de agua, los intercambios de gases y el crecimiento de las raíces (Bui, 2017). Según Alves Miranda et al. (2018) se estima que el 15% de la superficie terrestre del planeta presenta degradación por erosión de suelo, física y química, incluida la salinización.

La salinidad del suelo puede ser de origen natural o antrópico, de forma natural la salinidad es más frecuente en regiones áridas y semiáridas, debido a la falta de precipitación y una elevada evapotranspiración, lo que causa la acumulación de sales en la superficie presentándose costras blancas (Flores et al., 2014); además de las condiciones climáticas adversas, se deben considerar otros factores como: agua subterránea salina, tierras bajas cercanas a las costas, pantanos y litorales así como en las áreas cercanas a minas y bóvedas salinas (Lamz Piedra & González Cepero, 2013).

Por causa antropogénica, se da principalmente por el uso excesivo de fertilizantes, el riego prolongado con aguas salinas, incorrectas prácticas agrícolas lo cual permite la movilidad de las sales dentro del suelo y el transporte de las mismas a nuevos sitios, agravando la productividad del suelo (Alves Miranda et al., 2018; Mesa, 2003).

Rengasamy (2006) describe la distribución global de suelos salinos y sódicos en los diferentes continentes según el mapa de suelos del mundo de la FAO/UNESCO, según este informe en América del Sur existen 69,4 millones de hectáreas de suelo salino y 59,6 millones de hectáreas de suelos sódicos, haciendo un total de 129 millones de hectáreas de suelos con problemas de salinidad y sodicidad.

En países como Argentina unos 13 millones de hectáreas se caracterizan por la presencia de sales, lo que la convierte en el tercer país, luego de Rusia y Australia, con mayor superficie de suelos afectados por sales (Courel, 2019). En Brasil, la desertificación a causa de la salinidad también representa un problema de degradación de suelos, donde el clima puede ser considerado semiárido, los riesgos de desertificación son eminentes (Coelho Castro & dos Santos, 2020).

La situación de salinización en el Perú se presenta mayormente en las regiones áridas costeras desde los años 70 y 80, sin embargo, en la actualidad no se cuenta con información actualizada sobre la cantidad de suelos afectados por salinización, la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) estimó que hay cerca de 300 mil hectáreas con problemas de drenaje y salinización a lo amplio de la zona costera

(Hurtado Delgado, 2019). Asimismo, el Instituto Nacional de Desarrollo (INADE), afirma que desde los años 70 las costas del Perú contaban con un aproximado de 1 millón de hectáreas para riego, donde 750 mil hectáreas eran de cultivos, las cuales 300 mil hectáreas tienen problemas de salinidad (Moscol Soto, 2018).

Actualmente, el tema de salinidad no es ajeno a la realidad nacional, este problema viene destacando en la costa peruana en zonas áridas y semiáridas, en lugares con períodos de sequía como en lugares templados, secos y trópicos secos. Se ha presentado ante el congreso del Perú el proyecto de Ley N° 7786-2020-CR (2021), “Proyecto de Ley que declara de interés Nacional y Necesidad Pública la prevención de la Salinización del Suelo Agrícola”, que tiene por objeto proteger la seguridad alimentaria nacional, en este proyecto se menciona que uno de los temas relacionados a la salinidad es el mal manejo de drenaje. Por otra parte, no existe mucha información sobre salinidad en lugares altoandinos del Perú, según información recopilada este problema se centra más en la zona costera especialmente en los valles del norte en donde predomina la siembra de arroz.

Uno de los métodos para disminuir la salinidad en los suelos es mediante la aplicación de materia orgánica, siendo este un factor clave ya que actúa sobre las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo (Mederos Molina et al., 2010). El empleo de materia orgánica como el estiércol llega a facilitar la regeneración de suelos salinos y sódicos (Sastre-Conde et al., 2015). Al añadir estiércol al suelo se refleja un aumento de la actividad biológica aumentando directamente la disponibilidad de muchos nutrientes para las plantas, así como la velocidad de infiltración, la conductividad hidráulica y la retención de agua en tanto que la densidad aparente se disminuye (Sastre-Conde et al., 2015).

La conservación, así como la recuperación de suelos salinos son de gran importancia para la producción agrícola, es por ello que se han estudiado métodos físicos, químicos y biológicos (Mata-Fernández et al., 2014). La presente investigación tiene como objetivo determinar el efecto de enmiendas orgánicas (estiércol de vacuno y cuy) para la biorrecuperación del suelo salino en condiciones controladas en la zona rural de Cachipampa en el distrito de San Pablo – Cusco, Perú 2021.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

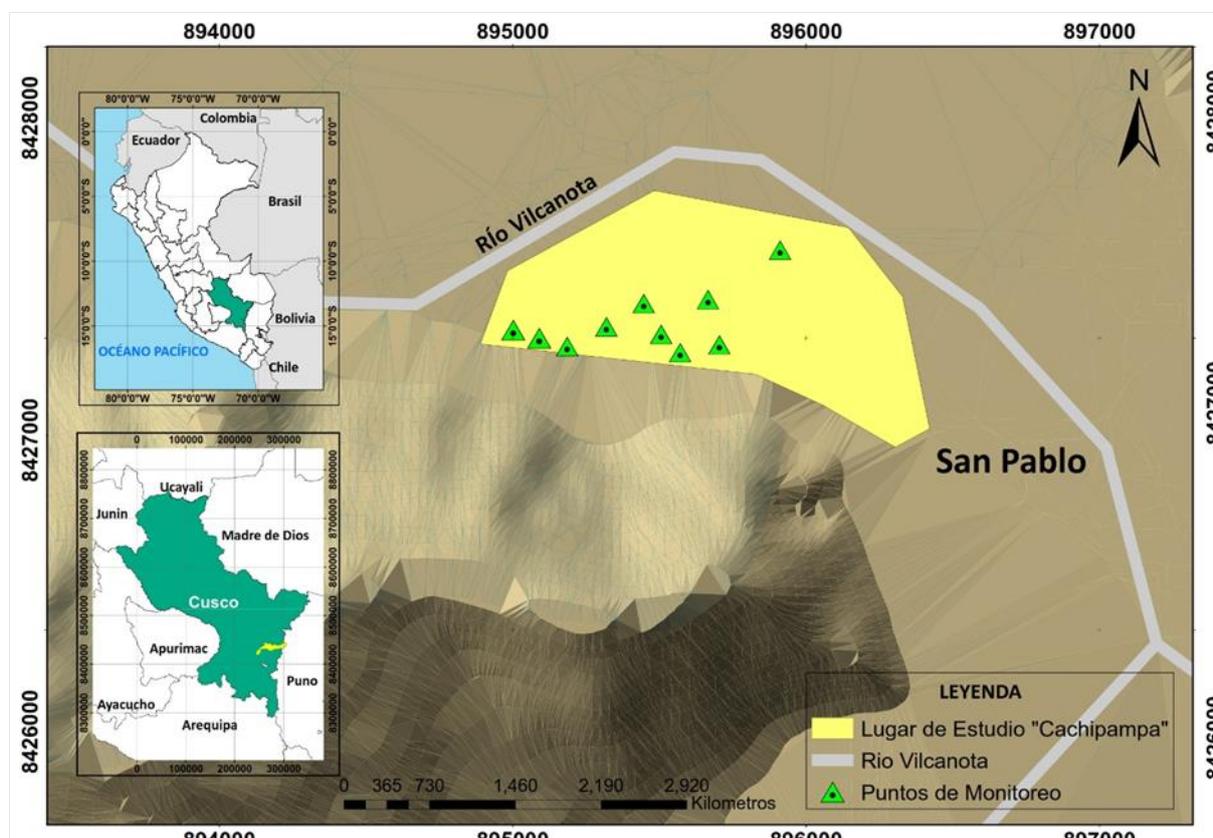
2.1. Lugar de estudio

San Pablo es uno de los ocho distritos de la provincia de Canchis, se encuentra ubicado en la región de la sierra y forma parte de la zona altoandina, presenta una altitud de 3 486 m.s.n.m. y posee 524,06 Km² de superficie. La información digital sobre la comunidad de Cachipampa es limitada, sin embargo, por ser una comunidad de San Pablo presenta el mismo clima de su distrito. Según la estación meteorológica de Sicuani, ubicada a 3 550 m.s.n.m., se considera un clima semifrío, oscila en una temperatura media máxima de 20,5°C y una media mínima mensual de 1,9°C en los meses de junio y julio. El suelo de San Pablo tiene 1 848,36 ha que corresponden a superficie agrícola y 44 100,03 ha son señaladas como tierras no agrícolas; expresando en porcentajes tenemos que el 95,97% es tierra no agrícola y solo un 4,03% es tierra agrícola. Dentro de las tierras que se consideran aptas para en uso agrícola se distinguen 2 tipos: de riego, que representa el 25% de la superficie agrícola y secano, que abarca el 75% de la superficie total agrícola. La comunidad de Cachipampa se ubica en el distrito de San Pablo, departamento de Cusco; con coordenadas de ubicación presentes en la Tabla 1. En la Figura 1 se muestra el mapa de ubicación del lugar de estudio, y en la Figura 2 se muestra una fotografía del suelo salino de Cachipampa, se observa costras blancas de sal en la superficie de suelo, que evidencia la presencia de sales y hace imposible su uso para actividades agropecuarias.

Tabla 1.*Ubicación geográfica del distrito de San Pablo*

UTM	
Coordenadas	250 092,12 m E / 8 428 656,50 m S
Altura	3 466 m.s.n.m.

Fuente: Google Earth

**Figura 1.** *Ubicación del lugar de estudio*

2.2. Toma de muestras de Suelo (Pre tratamiento)

Para la extracción de las muestras del suelo, establecimos 10 puntos aleatorios siguiendo las especificaciones técnicas de la Guía para el muestreo de suelos D. S. N° 002-2013-MINAM (MINAM, 2014), considerando el método aleatorio simple, recomendaciones de la Guía Técnica para muestreo de suelos de (MINAM, 2014), este método escoge puntos al azar que representan el área muestreada. Realizamos el muestreo a una profundidad de 20 cm con el objetivo de obtener una muestra compuesta significativa, extrayendo 10 submuestras de aproximadamente 2 kg de contenido cada una, en la Tabla 2 describimos la ubicación mediante coordenadas UTM de cada punto de muestreo. Finalmente, mediante la aplicación del método del cuarteo separamos la cantidad de un kilogramo de muestra de suelo, para realizar análisis fisicoquímicos: potencial de Hidrógeno (pH), Conductividad Eléctrica (CE), Materia Orgánica (MO), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C), Humedad Equivalente (HE), Carbonatos (C), Densidad Real (DR) y Densidad Aparente (DA), en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco.

Tabla 2.*Puntos de Extracción de Submuestras de Suelo*

Punto	X UTM	Y UTM
1	247 322,08	8 428 859,98
2	247 411,23	8 428 833,73
3	247 507,76	8 428 807,35
4	247 639,07	8 428 878,46
5	247 764,40	8 428 961,91
6	247 826,57	8 428 857,99
7	247 892,88	8 428 796,70
8	248 025,74	8 428 826,69
9	247 982,79	8 428 980,84
10	248 223,83	8 429 156,25

2.3. Construcción de la Planta Piloto para el tratamiento

La aplicación del tratamiento de suelo salino requirió de la construcción de una planta piloto, considerando la metodología que empleó (Suaña Jaen & Nina Luna, 2019) en su investigación, la planta piloto que se encuentra ubicada en una vivienda aledaña a la zona de estudio, dicha vivienda cuenta con un espacio ventilado, sin techo con ingreso de rayos del sol a la superficie; condiciones necesarias para la preparación de la planta piloto. Dado que la construcción de la planta piloto y el tratamiento realizamos entre los meses de mayo a septiembre, considerados meses secos (precipitaciones bajas), las precipitaciones fluviales no influyeron para mantener el estiércol y realizar la mezcla para el tratamiento. Para la construcción requerimos de 20 recipientes de plástico con un volumen de 51 litros cada uno aproximadamente, con dimensiones de 61 cm ancho, 42 cm largo y 20 cm profundidad, capaz de almacenar aproximadamente 25 Kg de sustrato. Revestimos cada recipiente con poliuretano de alta densidad con poros en la base para la filtración del agua de riego, evitar la caída de sustrato y mantener la humedad.

Recolectamos sustrato de la zona de estudio, aproximadamente 200 Kg y realizamos su traslado a la planta piloto y lo depositamos sobre una manta para su secado. Después de haber realizado el secado del suelo al ambiente procedimos a tamizar con una malla de 2 mm de diámetro.

2.4. Tratamiento de suelos salinos

Determinamos 4 tratamientos denominados T1, T2, T3 y T4 tal como lo describimos en la Tabla 3 para el tratamiento T1 (2 kg estiércol de cuy) se establecieron los experimentos nominados con la siguiente codificación T1C1, T1C2, T1C3, T1C4 y T1C5, para el T2 (4 kg de estiércol de cuy) se establecieron T2C1, T2C2, T2C3, T2C4 y T2C5, del mismo modo para el T3 (2 kg de estiércol de vaca) se establecieron T3V1, T3V2, T3V3, T3V4 y T3V5, finalmente para el T4 (4 kg estiércol de vaca) se nominaron: T4V1, T4V2, T4V3, T4V4 y T4V5. En cada experimento implementamos 10 kg de suelo salino, más la masa de enmienda orgánica según lo establecido en la Tabla 3, luego homogeneizamos el sustrato con la cantidad de enmiendas orgánicas para cada experimento y depositamos en cada recipiente con su rotulación respectiva.

El tiempo total que empleamos para la recuperación de suelo salino fue de 90 días, sin embargo, realizamos una extracción de muestras a los 30, 60 y 90 días del tratamiento para evaluar el avance de recuperación de suelo salino. En el transcurso de los 90 días de tratamiento implementamos el riego con la cantidad de 1 litro de agua dos veces por semana con la finalidad de mantener la humedad del sustrato.

Tabla 3.*Descripción del tratamiento*

Tratamiento	Experimento	Masa Suelo Salino	Tipo de Enmienda Orgánica	Masa de Enmienda	Tiempo de Extracción
T1	T1C1	10 kg	Estiércol de Cuy	2 kg	30 días
	T1C2	10 kg	Estiércol de Cuy	2 kg	30 días
	T1C3	10 kg	Estiércol de Cuy	2 kg	60 días
	T1C4	10 kg	Estiércol de Cuy	2 kg	90 días
	T1C5	10 kg	Estiércol de Cuy	2 kg	90 días
T2	T2C1	10 kg	Estiércol de Cuy	4 kg	30 días
	T2C2	10 kg	Estiércol de Cuy	4 kg	30 días
	T2C3	10 kg	Estiércol de Cuy	4 kg	60 días
	T2C4	10 kg	Estiércol de Cuy	4 kg	90 días
	T2C5	10 kg	Estiércol de Cuy	4 kg	90 días
T3	T3V1	10 kg	Estiércol de Vaca	2 kg	30 días
	T3V2	10 kg	Estiércol de Vaca	2 kg	30 días
	T3V3	10 kg	Estiércol de Vaca	2 kg	60 días
	T3V4	10 kg	Estiércol de Vaca	2 kg	90 días
	T3V5	10 kg	Estiércol de Vaca	2 kg	90 días
T4	T4V1	10 kg	Estiércol de Vaca	4 kg	30 días
	T4V2	10 kg	Estiércol de Vaca	4 kg	30 días
	T4V3	10 kg	Estiércol de Vaca	4 kg	60 días
	T4V4	10 kg	Estiércol de Vaca	4 kg	90 días
	T4V5	10 kg	Estiércol de Vaca	4 kg	90 días

2.5. Determinación de Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) y Relación de Absorción de Sodio (RAS)

Para el cálculo del PSI y el RAS se debe considerar datos de cationes asimilables o intercambiables tales como (Na⁺, Mg⁺, Ca⁺) (Hurtado Delgado, 2019). Analizamos los cationes asimilables a los 90 días de tratamiento para evaluar el mejoramiento de suelos salinos.

Estimamos el PSI mediante la fórmula matemática de Aguirre Hernández (2009):

$$PSI = Na/CIC \times 100 \quad (1)$$

Estimamos la RAS mediante la fórmula matemática de Suaña Jaen & Nina Luna (2019):

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad (2)$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Tratamiento con enmienda orgánica de cuy

En la Tabla 4 presentamos los resultados del análisis inicial y post tratamiento con sus respectivos parámetros y días de evaluación.

La Tabla 4 describe los resultados obtenidos para las proporciones de 2 Kg y 4 Kg de enmienda de cuy más suelo salino durante 90 días de evaluación. El pH inicial de 8,05 de suelo salino previo al tratamiento indica

índices bajos de precipitación y de lavado, presentando una alta concentración de sales y poco drenaje. Los resultados significativos del pH oscilan entre 7,04 y 7,3 indicando ser un pH neutro.

Tabla 4.

Evaluación del suelo salino con enmienda orgánica de cuy

Parámetros	Análisis Inicial	Días de Evaluación									
		30	30	30	30	60	60	90	90	90	90
		T1C1	T1C2	T2C1	T2C2	T1C3	T2C3	T1C4	T1C5	T2C4	T2C5
pH	8,05	8,04	8,02	8,02	7,9	7,9	7,8	7,5	7,04	7,35	7,3
CE (mmhos/cm)	24,40	21	20	19,8	16,8	8,09	4,84	1,37	1,42	1,12	1,57
M.O (%)	0,40	13,6	11,9	15,2	15,5	17,1	19,2	14,6	18,1	13,1	19,2
Nitrógeno (%)	0,02	0,35	0,35	0,37	0,37	0,52	0,68	0,71	0,75	0,75	0,77
Fosforo (ppm P ₂ O ₅)	0,06	35,9	46,7	38,9	52,2	46,2	56,2	52,8	49,1	56,4	60,1
Potasio (ppm K ₂ O)	535,0	421,6	380	474	506,2	622,8	570,9	210,4	230	182,2	249,2
C.I.C (meq/100)	4,10	12,1	10,8	13	13,5	10,6	11,8	21,2	10,2	20,8	11,4
CC	8,74	40,29	36,5	44,25	45,08	43,96	44,66	49,55	43,86	51,9	43,61
H.E (%)	5,60	46,36	41,26	51,48	52,54	51,11	52	58,33	53,02	61,49	50,65
P.M.P (%)	4,71	21,75	19,61	23,88	24,33	23,73	24,1	26,74	23,67	28,05	23,53
Carbonatos (%)	36,4	19,2	17,8	20,6	19,8	7,8	6,6	4,16	2,9	3,92	3,6
d.a (g/cc)	1,792	1,69	1,71	1,67	1,65	1,68	1,67	1,52	1,55	1,53	1,42
d.r (g/cc)	2,341	2,11	2,21	2,12	2,11	2,21	2,15	2,06	2,27	2,08	2,25
Arena (%)	94	94	89	95	86	89	87	85	82	86	86
Limo (%)	4	5	5	4	4	9	8	8	13	10	8
Arcilla (%)	2	2	2	3	3	3	3	6	5	6	6

Los tratamientos que resultaron ser más eficaces son los evaluados a los 90 días, tanto con enmiendas de 2 Kg y 4 Kg. Como se observa en la Figura 2, el pH disminuye mientras más días de tratamiento transcurre (Ramírez Alaluna, 2016).

En cuanto a la conductividad eléctrica (C.E.) del suelo salino previo al tratamiento, presenta un resultado extremadamente alto de 24,40 mmhos/cm, esto disminuye el rendimiento del cultivo, sin embargo, luego de la aplicación de la enmienda orgánica se aprecia una mejora significativa registrando valores de 1,12 mmhos/cm a los 90 días perteneciente al tratamiento T2C4 con 4 Kg de enmienda de estiércol de cuy, representado la mayor reducción de concentración de sales solubles.

La disminución de la C.E., resulta de las reacciones de precipitación de iones liberados por el aporte de nutrientes de enmiendas orgánicas, generando la liberación de nutrientes desde el suelo (Hirzel & Salazar, 2011).

La concentración de Materia Orgánica (MO) del suelo salino previo al tratamiento fue de 0,40 %, luego de la incorporación de las enmiendas orgánicas se obtuvo incrementos significativos en todos los tratamientos sobre las concentraciones de (MO) a los 60 y 90 días los resultados oscilan entre 15 y 19% de (MO) siendo la más elevada la del tratamiento T2C3 y T2C5 con 19,2 % de (MO) el incremento brinda numerosos beneficios a la estructura del suelo debido a que se forma el complejo arcilloso húmicos.

Según Cueva-Rodríguez et al. (2012) los suelos con (MO) menor al 2 % representan un bajo contenido, entre 2 a 5 % un contenido medio, siendo el valor óptimo un valor mayor a 5 %. Ramírez Alaluna (2016) menciona que la aplicación de enmiendas orgánicas en suelos salinos, genera un efecto de vital importancia porque incrementa la capacidad de (MO) en el suelo.

Por otro lado, la escasez de nutrientes en suelo salinos como el Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) limita su fertilidad (Casas Fustamante & Galvan Rivas, 2019). El contenido de Nitrógeno (N) inicial del suelo salino previo al tratamiento fue de un 0,02 %, conforme al análisis realizado después de aplicar las

enmiendas orgánicas se muestra un resultado significativo de 0,71%; 0,75%; 0,75% y 0,77% a los 90 días de evaluación.

En cuanto al contenido de Fósforo (P) inicial del suelo salino previo al tratamiento fue de 0,6 ppm P_2O_5 , y a los 90 días de tratamiento se muestra un resultado muy significativo de 60,1 ppm P_2O_5 , este parámetro coadyuva a que las raíces y la planta se desarrollen rápidamente, mejorando la eficiencia del uso de agua y acelerando la maduración. El Potasio (K) inicial del suelo salino previo al tratamiento muestra una concentración de 535,0 ppm K_2O , luego de aplicar las enmiendas orgánicas tuvo un ligero aumento de 622,8 ppm K_2O .

Según Flores Quispe (2015) y Walker & Bernal (2008) se ha comprobado que la aplicación de enmiendas orgánicas a suelos salinos incrementa el contenido de materia orgánica, aumentando la proporción del Nitrógeno, Fósforo, Potasio y en menor proporción el Magnesio, Sodio y Azufre, entre otros, esto es debido a que los materiales orgánicos de origen animal o vegetal contienen numerosos elementos nutritivos.

Flores et al. (2014), mencionan que el Nitrógeno como forma orgánica es usado por las plantas, es parte de la materia orgánica del suelo y como tal contribuye favorablemente con nutrientes. Casas Fustamante & Galvan Rivas (2019) encontraron que la aplicación de enmiendas proporciona una mayor fracción de materia orgánica en el suelo, la cual directamente incrementa el contenido de potasio en los suelos.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.) inicial del suelo salino previo al tratamiento fue de 4,10 meq/100, luego de la incorporación de las enmiendas orgánicas se obtuvieron 21,2 meq/100 y 20,8 meq/100 como los mayores valores luego de 90 días de iniciado el tratamiento.

Por lo general, los suelos con alta C.I.C., son aquellos con altos contenidos de arcilla y/o materia orgánica. La elevada C.I.C. les brinda mayor capacidad para retener nutrientes, eso normalmente los hace más fértiles (INTAGRI, 2016).

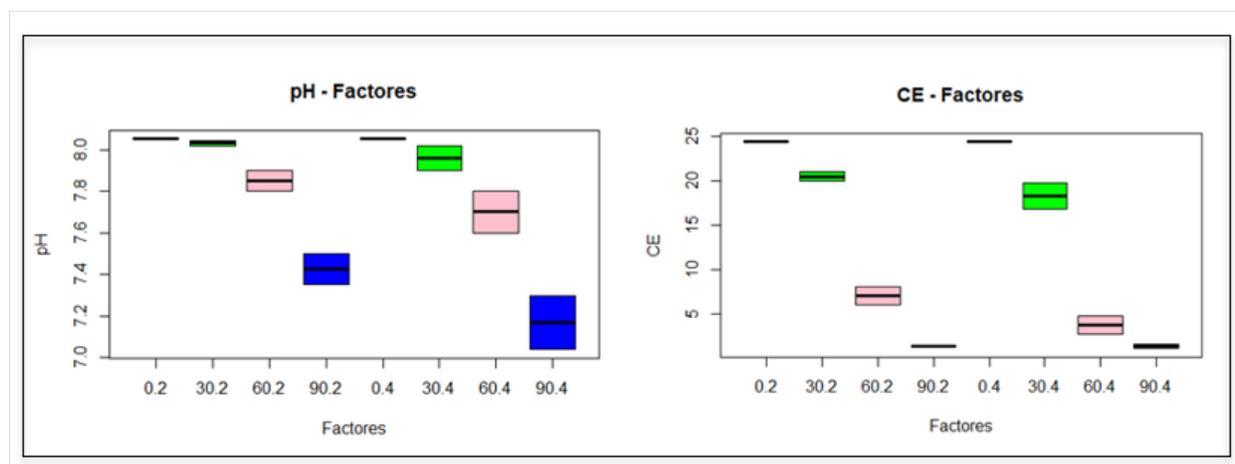


Figura 2. Efecto sobre las variables químicas pH, Conductividad eléctrica (CE) con la aplicación de enmiendas de Cuy

3.2. Tratamiento con enmienda orgánica de vaca

La Tabla 5 describe los resultados obtenidos para las proporciones de 2 Kg y 4 Kg de enmienda de vaca más suelo salino durante 90 días de evaluación. El valor del pH en la muestra inicial del suelo salino previo al tratamiento es de 8,05 considerado significativamente alto, el resultado inicial de Conductividad Eléctrica (C.E.) es de 24,4 mmhos/cm, según estos 2 parámetros podemos clasificar el suelo como un suelo salino según El USDA (United States Department of Agriculture) define a los suelos salinos como aquellos que presentan concentraciones de pH que oscilan entre 7,0 a 8,5 y una conductividad eléctrica >4 dS m^{-1}

(Bandera, 2013). Con una proporción de 2 Kg de estiércol vacuno (correspondiente a los tratamientos T3V1, T3V2, T3V3, T3V4 y T3V5) se muestra que el pH se redujo hasta valores de 7,2 y 7,45 y con 4 Kg de estiércol vacuno se obtuvieron valores mínimos de 7,05 y 7,1 en los experimentos T4V4 y T4V5 a los 90 días, del mismo modo autores como (Suaña Jaen & Nina Luna, 2019) obtuvieron resultados de disminución de pH de 10,13 a 9,71 con tratamientos de estiércol de vaca siendo este el más eficiente en comparación a otros tipos de enmiendas.

Tabla 5.

Evaluación del Suelo salino con enmienda orgánica de Vaca

Parámetros	Análisis Inicial	Días de evaluación									
		30		30		60		90		90	
		T3V1	T3V2	T4V1	T4V2	T3V3	T4V3	T3V4	T3V5	T4V4	T4V5
pH	8,05	8,08	8,02	8,04	8	8	7,45	7,2	7,45	7,05	7,1
CE (mmhos/cm)	24,4	21,7	20,1	18,1	17,1	8,44	3,68	1,53	1,51	1,24	1,75
M.O (%)	0,4	13,8	14,8	15,1	15,7	13,9	16,6	15,2	15,2	25,16	25,16
Nitrógeno (%)	0,02	0,27	0,74	0,66	0,78	0,61	0,75	0,69	0,72	0,76	0,78
Fosforo (ppm P ₂ O ₅)	0,06	36,9	51,9	41,9	44,2	46,2	48,9	57,9	46,4	74,9	74,9
Potasio (ppm K ₂ O)	535	174,4	236,9	233,6	258,2	390,6	440,9	717,8	882,9	717,8	882,9
C.I.C (meq/100)	4,1	12,6	12,2	11,3	12,4	10,8	12,9	16,4	13,1	25,1	12,8
CC%	8,74	44,84	44,02	41,52	47,3	48,98	41,71	42,57	48,36	66,2	47,68
H.E (%)	5,6	42,24	51,18	47,95	55,42	48,19	49,31	57,59	56,78	79,83	55,91
P.M.P (%)	4,71	24,2	23,76	22,41	25,53	26,43	22,97	22,97	26,1	35,72	25,73
Carbonatos (%)	36,4	21	20,4	21,8	20,7	3,58	3,9	3,8	2,6	3,3	2,72
d.a (g/cc)	1,79	1,64	1,67	1,68	1,65	1,54	1,51	1,50	1,52	1,49	1,49
d.r (g/cc)	2,34	2,29	2,12	2,29	2,12	2,13	2,13	2,09	2,26	1,98	2,25
Arena (%)	94	85	86	86	81	96	92	82	80	89	85
Limo (%)	4	3	3	7	9	7	8	10	5	12	12
Arcilla (%)	2	1	1	1	1	5	5	6	5	6	7

Todos los tratamientos mostraron tendencia a disminuir la Conductividad Eléctrica (C.E.) se observa una disminución progresiva a lo largo del período de tratamiento, a los 30 días el valor de C.E. logró reducirse a 17,1 mmhos/cm en el experimento T4V2 (4 Kg de enmienda) siendo este el menor valor obtenido a los 30 días, a los 60 días se redujo a un valor de 3,68 mmhos/cm del experimento T4V3, se observa una reducción significativa a los 90 días de tratamiento llegando a alcanzar valores de 1,24 mmhos/cm y 1,75 mmhos/cm en los experimentos T4V4 y T4V5, registrando una diferencia de 23,16 mmhos/cm entre el valor inicial de C.E. y el valor final de los 90 días. Manzano Banda et al. (2014) en su investigación reportan resultados favorables con la aplicación de estiércol reduciendo la C.E. de 22 dS m⁻¹ hasta 3 dS m⁻¹, resaltando que valores por debajo de 4 dS m⁻¹ son viables para la mayoría de suelos y cultivos.

Los tratamientos con estiércol de vaca originaron un incremento significativo en los valores de la Materia Orgánica (MO) los resultados pre tratamiento presenta un 0,4% de (MO), se observa a un incremento progresivo a lo largo del tratamiento, a los 30 días hubo un incremento hasta llegar a 15,7 % de (MO), a los 60 días el porcentaje registra 16,6 % y a los 90 días se observa un aumento significativo de (MO), con valores de 25,16 %, según menciona Mederos Molina et al. (2010) con la incorporación de este tipo de enmiendas al suelo se obtiene un incremento de (MO) que mejora el estado nutricional de suelo y su calidad.

En caso de los nutrientes en el suelo como el N, P y K se observa un incremento, para Nitrógeno (N) el tratamiento inicia con un valor de 0,02 % y aumenta hasta 0,78 % al terminar el tratamiento, según menciona Flores et al. (2014) el Nitrógeno forma parte de la materia orgánica del suelo y como tal contribuye favorablemente con nutrientes, por tal motivo el aumento de Nitrógeno en los tratamientos es favorable para mejorar la calidad del suelo. Por otro lado, el Fosforo (P) llega a alcanzar hasta 74,9 ppm P₂O₅ de un valor inicial de 0,06 ppm P₂O₅. Según Beltrán-Morales et al. (2019) después del Nitrógeno, el Fosforo es el segundo nutriente más importante para la nutrición vegetal, pero a diferencia del N está

menos disponible en el suelo, por su parte (Vázquez et al., 2020) manifiestan que la cantidad de pH influye para la disponibilidad de fósforo, es decir un suelo con aumento de pH disminuye la concentración de fósforo en el suelo; en los 90 días de tratamiento el pH disminuyó significativamente generando que la concentración de fósforo se incrementara en el tiempo de tratamiento.

El análisis del C.I.C. (Capacidad de Intercambio Catiónico) permite conocer capacidad que tiene una solución de suelo para retener y liberar iones (carga+) (Hurtado Delgado, 2019), el análisis inicial previo al tratamiento muestra un valor de 4,1 meq/100, según se menciona en la investigación de (Hanco Olivera, 2017) un suelo con bajos valores de C.I.C. es un indicador del suelo con baja capacidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica. El C.I.C. aumento progresivamente a lo largo de los 90 días de tratamiento, llegando a alcanzar valores de 16,4 meq/100 en el T3V4 (2 Kg a los 90 días) y 25,1 meq/100 en el T4V4 (4 Kg de estiércol), mostrando que el incremento del estiércol vacuno al suelo salino, enriquece al suelo de nutrientes y materia orgánica, García Izquierdo (2008) menciona que el C.I.C. produce liberación de nutrientes y reduce la biodisponibilidad de compuestos tóxicos y en aspecto biológico actúa como fuente de energía y nutrientes para los microorganismos del suelo.

Para ambas enmiendas la textura del suelo se mantuvo con un porcentaje mayor de arena durante el periodo total del tratamiento, a diferencia de una textura limo o arcillosa, la textura tiene una influencia significativa en la capacidad de retención de agua, nutrientes y erosión, estudios demuestran que la textura del suelo tiene una estrecha relación con el contenido de sal y el PH (Liu et al., 2022). Para el estudio de suelos afectados por salinización se tiene como indicadores tres parámetros, los cuales son: conductividad eléctrica (CE), porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y potencial de hidrógeno (pH), de los cuales la CE indica los niveles de sales acumulados en los suelos, el PSI es el índice utilizado para conocer el porcentaje de sodicidad en un suelo y el pH es indicador de la neutralización de un suelo (Pinchao, 2015). Por ello, para los tratamientos con enmiendas orgánicas de cuy y vaca los parámetros: Capacidad de Campo (CC), Humedad Equivalente (HE), Punto de Marchitez Permanente (PMP), Carbonatos, densidad aparente (d.a), densidad real (d.r), Arena, Limo y Arcilla; no se hace mención por ser parámetros de poca significancia, según menciona Zotarelli et al. (2013) son parámetros hídricos del suelo que evalúan la cantidad y almacenamiento de agua que puede ser retenido en el suelo.

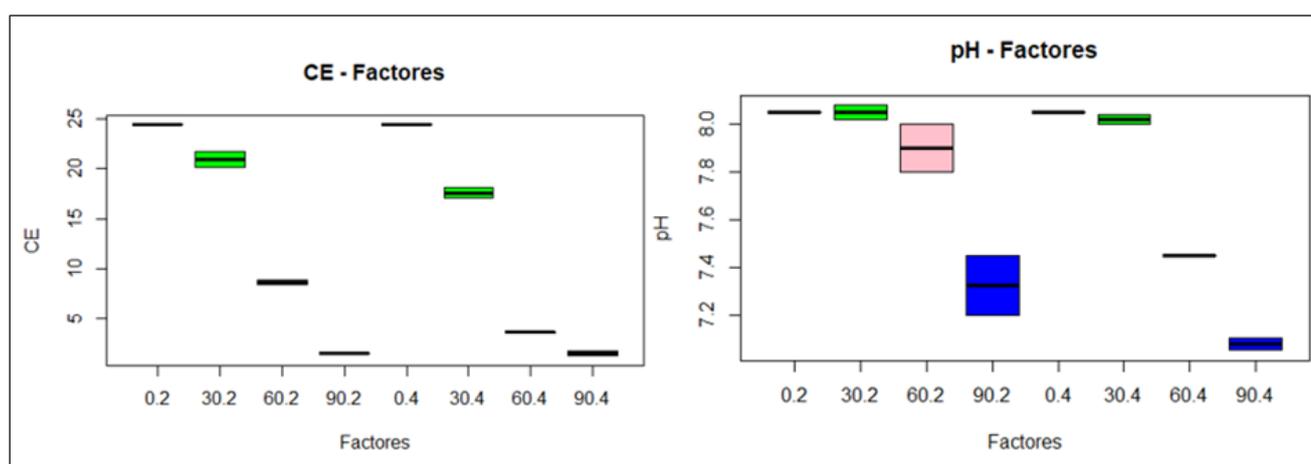


Figura 3. Efecto sobre las variables químicas pH, Conductividad Eléctrica (CE) con la aplicación de enmiendas de vaca

3.3. Determinación del PSI Y RAS

El Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) expresa el porcentaje de Na⁺ (Sodio) con respecto a los demás cationes adsorbidos, un suelo puede sufrir problemas de sodificación, salinidad y dispersión de la arcilla cuando el PSI > 15 (Pastor Mogollón et al., 2015). En la Tabla 6 se observan los valores de los cationes analizados del suelo a los 90 días de tratamiento, el PSI y RAS calculado. Obtuvimos valores mínimos significativas en el PSI, siendo T4V4 (enmienda con estiércol de vaca) el valor mínimo con un porcentaje de 7% de PSI, los otros valores oscilan entre 7 a 13%, ello se debe a que la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se redujo a lo largo del tratamiento lo que causa que baje la capacidad del suelo para retener cationes, en especial los de sodio (Ramírez Alaluna, 2016). Asimismo, Suaña Jaen & Nina Luna (2019) obtuvieron resultados mínimos de PSI con casi el 50% de reducción con aplicación de enmiendas orgánicas de cuy y vaca.

Tabla 6.

Evaluación del PSI y RAS

Tratamiento	T1C4 (2kg)	T1C5 (2kg)	T2C4 (2kg)	T2C5 (2kg)	T3V4 (4kg)	T3V5 (4kg)	T4V4 (4kg)	T4V5 (4kg)
PSI	7,8	13,5	8,5	13,9	11,2	11,7	7,0	13,4
RAS	2,1	2,1	2,2	2,4	2,3	2,3	2,3	2,5

Resulta importante la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) para conocer la proporción de sodio en función del calcio y magnesio (Aguirre Hernández, 2009). Los suelos que tienen valores de RAS de 13 o más pueden caracterizarse por una mayor dispersión de materia orgánica y partículas de arcilla, conductividad hidráulica saturada aireación reducidas, y una degradación general de la estructura del suelo (Sposito & Mattigod, 1977). En los valores de RAS obtenidos de la presente investigación se observa que oscilan entre 2,1% hasta 2,5%,

Para cada capa de suelo, este atributo en realidad se registró como tres valores separados en la base de datos. Un valor bajo y un valor alto indican el rango de este atributo para el componente del suelo. Un valor "representativo" indica el valor esperado de este atributo para el componente. Para esta propiedad del suelo, solo se utiliza el valor representativo.

4. CONCLUSIONES

La incorporación de enmiendas orgánicas de cuy en el suelo salino demostró eficiencia en la biorrecuperación del suelo a lo largo del tratamiento (90 días), los tratamientos con la aplicación de estiércol de cuy redujeron el pH de 8,05 hasta 7,3. Asimismo la CE (Conductividad Eléctrica) se redujo en más del 90%, llegando a valores de 1,12 con respecto a la MO (materia orgánica) aumentaron sus niveles de concentración de 0 hasta 19% en forma paralela en todos los tratamientos. Por lo tanto, la incorporación de enmienda orgánica mejoró las propiedades químicas y físicas del suelo salino, ya que presentaron mejora de valores que los resultados iniciales, mostrando un efecto positivo en relación a la reducción de sales e incremento de materia orgánica.

Del mismo modo, la incorporación de enmiendas orgánicas de vaca en el suelo salino, mostró eficiencia en los resultados finales, llegando a biorrecuperar el suelo contaminado con sales a lo largo del tratamiento, considerando que el pH, CE y PSI son indicadores de suelos salinos, el pH se redujo hasta 7,05 de un pH inicial de 8, la CE (Conductividad Eléctrica) se redujo hasta 1,75 de un valor inicial de 24,4 en cuanto a los valores de MO (Materia Orgánica) se observa que hay un aumento de manera progresiva a lo largo del tratamiento en 90 días, llegando a valores de 25,16%, aumentando sus niveles de nutrientes en el suelo y mejorando su estructura.

Por otro lado, en el PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) se puede observar en los resultados a los 90 días alcanzan valores por debajo del 15% con la aplicación de enmiendas orgánicas de cuy, así como con las enmiendas de vaca, obteniendo resultados favorables en todos los tratamientos paralelamente, disminuyendo el contenido de sodio intercambiable del suelo.

El tiempo y dosis de enmiendas influyen de manera importante en el tratamiento, observamos mejores resultados con la aplicación de 4kg de enmiendas a los 90 días, cuanto más tiempo dure el tratamiento o cuanta mayor sea la dosis de aplicación de enmienda, se obtendrán resultados más favorables.

Podemos decir que la incorporación de enmiendas orgánicas de cuy y de vaca poseen efectos positivos sobre el suelo salino, mostrando un efecto de biorrecuperación y mejora del suelo, mostrando resultados eficientes en las propiedades químicas y físicas del suelo.

FINANCIAMIENTO

Ninguno

CONFLICTO DE INTERESES

El presente artículo no presenta conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Aimituma-Franco, K. M., Llanqui-Ticona, S. E. y Fernández-Rojas, H.: Coordinación del proyecto, recolección de las muestras, descripción taxonómica, análisis, discusión, redacción e interpretación de los resultados, metodología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Hernández, A. (2009). *El manejo de la conductividad eléctrica en fertirriego* [Centro de Investigación en Química Aplicada]. <http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/344>
- Alves Miranda, M. F., Galvão dos Santos Freire, M. B., Gomes Almeida, B., Freire, A. G., Freire, F. J., & Medeiros Pessoa, L. G. (2018). Improvement of degraded physical attributes of a saline-sodic soil as influenced by phytoremediation and soil conditioners. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(9), 1207–1221. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1419195>
- Bandera, R. (2013). *Rehabilitación de suelos salino - sódicos : evaluación de enmiendas y de especies forrajeras* [Universidad de Buenos Aires]. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/5880>
- Beltrán-Morales, F. A., Nieto-Garibay, A., Murillo-Chollet, J. S. A., Ruiz-Espinoza, F. H., Troyo-Diequez, E., Alcalá-Jauregui, J. A., & Murillo-Amador, B. (2019). Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica. *Revista Terra Latinoamericana*, 37(4), 371–378. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.520>
- Bui, E. N. (2017). Causes of Soil Salinization, Sodification, and Alkalinization. In *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.264>
- Casas Fustamante, N., & Galvan Rivas, A. F. (2019). *Eficiencia de las enmiendas orgánicas en la recuperación de suelos salinos en el distrito de San Vicente De Cañete – Lima* [Universidad Peruana Unión]. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/1817>
- Coelho Castro, F., & dos Santos, A. M. (2020). Salinity of the soil and the risk of desertification in the

- semiarid region. *Mercator*, 19(1), 1–13. <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19002>
- Courel, G. F. (2019). *Suelos salinos y sódicos* (pp. 1–8). Cátedra de Edafología. <https://s9a0d11af78cd478d.jimcontent.com/download/version/0/module/9026474176/name/Suelos%2BSalinos>
- Cueva-Rodríguez, A., Yépez, E. A., Garatuza-Payán, J., Watts, C. J., & Rodríguez, J. C. (2012). Diseño y uso de un sistema portátil para medir la respiración de suelo en ecosistemas. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 327–336. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792012000400327
- Delgado Zambrano, J. G., & Robalino Zambrano, J. A. (2017). *Aplicación (in vitro) de consorcios de microorganismos y azolla caroliniana para recuperación de suelos salinos en muestras del sitio correaguamanabí* [Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/604>
- Flores, E., Flores, J., & Tórrez, J. (2014). Recuperación de suelos salinos con la incorporación de sulfato de calcio hemidrato (Ca(SO₄)_{1/2}H₂O) en la comunidad de Yotala. In *Ciencias Tecnológicas y Agrarias T-I: Handbook* (1st ed.). ECORFAN.
- Flores Quispe, L. (2015). *Efecto de las enmiendas orgánicas terramar®, humax® 90 y koripacha – bio®, sobre algunas propiedades del suelo y el rendimiento del cultivo de rabanito (raphanus sativus L.) en el distrito de San Jeronimo, provincia de Andahuaylas* [Universidad Tecnológica de los Andes]. <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/39>
- García Izquierdo, C. (2008). *Enmiendas Organicas para Suelos basadas en residuos Organicos* (Vol. 78). Academia de Ciencias de la Región de Murcia.
- Hanco Olivera, C. C. (2017). *Desalinización con Beterraga (Beta vulgaris L.) asociada al vermicompost y cal agrícola para el mejoramiento de la calidad del suelo, Cañete, 2017* [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/3539>
- Hirzel, J., & Salazar, F. (2011). Uso de enmiendas orgánicas como fuente de fertilización en cultivos. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, 28. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/3555>
- Hurtado Delgado, D. A. (2019). *Eficiencia de biorrecuperación mediante enmienda orgánica incorporada en el suelo salino de la ladera del Establo “Agropecuaria Villa Asís S.R.L” comunidad autogestionaria Huaycán – Ate Vitarte* [Universidad Peruana Unión]. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/1791>
- INTAGRI. (2016). *La Salinidad de los Suelos, un Problema que Amenaza su Fertilidad*. Instituto Para La Innovación Tecnológica En La Agricultura. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/salinidad-de-suelos-problema-de-fertilidad#:~:text=La%20salinidad%20tiene%20un%20efecto,Absorci%C3%B3n%20limitada%20de%20los%20nutrimentos>
- Lamz Piedra, A., & González Cepero, M. C. (2013). La Salinidad como Problema en la Agricultura: La Mejora Vegetal una Solucion Inmediata. *Cultivos Tropicales*, 34(4), 31–42. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362013000400005&lng=es&tlng=es
- Ley N° 7786-2020-CR. (2021). Ley que declara el interés nacional y necesidad pública la prevención de la salinización del suelo agrícola. *Congreso de La República Del Perú, 27 de Mayo de 2021*. https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Proyectos_de_Ley_y_de_Resoluciones_Legislativas/PL07786-20210527.pdf
- Liu, W., Ma, L., Smanov, Z., Samarkhanov, K., & Abuduwaili, J. (2022). Clarifying Soil Texture and Salinity

Using Local Spatial Statistics (Getis-Ord G_i^* and Moran's I) in Kazakh-Uzbekistan Border Area, Central Asia. *Agronomy*, 12(2), 332. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020332>

- Manzano Banda, J. I., Rivera Ortiz, P., Briones Encinia, F., & Zamora Tovar, C. (2014). Rehabilitación de suelos salino-sódicos: estudio de caso en el distrito de riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México. *Terra Latinoamericana*, 32(3), 211–219. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000300211&lng=es&tlng=es
- Mata-Fernández, I., Rodríguez-Gamiño, M. L., López-Blanco, J., & Vela-Correa, G. (2014). Dinámica de la salinidad en los suelos. *Revista Digital Del Departamento El Hombre y Su Ambiente*, 1(5), 26–35. http://cbs1.xoc.uam.mx/e_bios/docs/2014/05_SALINIDAD_EN_SUELOS_ESPANOL.pdf
- Mederos Molina, A., Orellana, R., Bastida, F., Hernández, M. T., & García, C. (2010). *Efectos de la aplicación de materia orgánica en la actividad de los suelos degradados por salinidad* (pp. 1–29). DOCPLAYER. <https://docplayer.es/89850178-Efectos-de-la-aplicacion-de-materia-organica-en-la-actividad-de-los-suelos-degradados-por-salinidad.html>
- Mesa, D. (2003). Obtención de plantas resistentes a la salinidad para los suelos salinos cubanos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 37(3), 217–226. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193018048001>
- MINAM. (2014). Guía para el muestreo de suelos. In *En el marco del Decreto Supremo N°002-2013-MINAM* (p. 72). Ministerio del Ambiente. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf>
- Moscol Soto, A. J. (2018). *Eficacia del Bacillus Subtilis para reducir la salinidad de los suelos del centro poblado de Quepepampa, Huaral - 2018* [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/20211>
- Pastor Mogollón, J., Martínez, A., & Rivas, W. (2015). Degradación química de suelos agrícolas en la península de paraganá, venezuela. *Suelos Ecuatoriales*, 44(1), 22–28. https://www.academia.edu/es/16655969/DEGRADACIÓN_QUÍMICA_DE_SUELOS_AGRÍCOLAS_EN_LA_PENÍNSULA_DE_PARAGUANÁ_VENEZUELA
- Pinchao, J. S. (2015). *Estimación del potencial productivo del suelo (PPS) en un cultivo de maíz (Zea mays) afectado por salinidad en dos municipios del Valle del Cauca* [Universidad del Valle]. <http://hdl.handle.net/10893/7752>
- Ramírez Alaluna, P. M. (2016). *Condiciones de salinidad y recuperación de los suelos de la cancha pública de golf-San Bartolo, Lima* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2482>
- Rengasamy, P. (2006). World salinization with emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1017–1023. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj108>
- Sastre-Conde, I., Carmen Lobo, M., Icela Beltrán-Hernández, R., & Poggi-Varaldo, H. M. (2015). Remediation of saline soils by a two-step process: Washing and amendment with sludge. *Geoderma*, 247–248, 140–150. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.12.002>
- Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(2), 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001>
- Simanca Fontalvo, R. M., & Cuervo Andrade, J. L. (2018). Effect of organic amendments and sulfur on chemical and biological properties of a sodic soil. *Spanish Journal of Soil Science*, 8.

<https://doi.org/10.3232/SJSS.2018.V8.N3.04>

Sposito, G., & Mattigod, S. V. (1977). On the Chemical Foundation of the Sodium Adsorption Ratio. *Soil Science Society of America Journal*, 41(2), 323–329.

<https://doi.org/10.2136/sssaj1977.03615995004100020030x>

Suaña Jaen, H. I., & Nina Luna, A. (2019). *Recuperación de suelos degradados por salinización con lavado y uso de enmiendas orgánicas (estiércol de vacuno y cuy) en el Centro Poblado de Balsapata, distrito de Orurillo de la Provincia de Melgar del Departamento de Puno, 2019* [Universidad Peruana Unión].

<http://hdl.handle.net/20.500.12840/2684>

Vázquez, J., Alvarez-Vera, M., Iglesias-Abad, S., & Castillo, J. (2020). The incorporation of organic amendments in the form of compost and vermicompost reduces the negative effects of monoculture in soils. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 105–112. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.12>

Walker, D. J., & Bernal, M. P. (2008). The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. *Bioresource Technology*, 99(2), 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.006>

Zamolinski, A. F. (2000). *Experiencias en recuperación de suelos salinizados* (pp. 1–14). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/suelos_salinos/35-salinizados.pdf

Zotarelli, L., Dukes, M. D., & Morgan, K. T. (2013). Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad. *EDIS*, 2013(2). <https://doi.org/10.32473/edis-ae496-2013>

ANEXOS



Figura 4. *Suelo salino de Cachipampa*



Figura 5. *Estructura de los recipientes para el tratamiento*



Figura 6. *Sustrato extraído del área de estudio*



Figura 7. *Pesado de Materia Orgánica (estiércol) para el tratamiento*



Características de las bandejas biodegradables de almidón de papa (*Solanum phureja*) reforzadas con maíz amarillo (*Zea mays* L.) y tocón de espárrago blanco (*Asparagus officinalis*)

Characteristics of biodegradable trays of potato (*Solanum phureja*) starch reinforced with yellow corn (*Zea mays* L.) and white asparagus (*Asparagus officinalis*) stump

Cabrera-Guevara, Celestino¹

Diaz-Hidrogo, Yorly¹

Diaz-Diaz, Elmer¹

Gamboa-Alarcón, Pedro Wilfredo^{1*}

¹Universidad Nacional Autónoma de Chota, Chota, Perú

Recibido: 31 Ago. 2022 | **Aceptado:** 28 Nov. 2022 | **Publicado:** 20 Ene. 2023

Autor de correspondencia*: pgamboa@unach.edu.pe

Como citar este artículo: Cabrera-Guevara, C., Diaz-Hidrogo, Y., Diaz-Diaz, E. & Gamboa-Alarcón, P. W. (2023). Características de las bandejas biodegradables de almidón de papa (*Solanum phureja*) reforzadas con maíz amarillo (*Zea mays* L.) y tocón de espárrago blanco (*Asparagus officinalis*). *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(1), e430. <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.e430>

RESUMEN

Las bandejas biodegradables buscan ser alternativas de solución a los problemas medioambientales originados por la acumulación de plásticos. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la adición de fibra de tocón de espárrago blanco y fibra de tusa de maíz amarillo en las propiedades mecánicas de bandejas biodegradables a base de almidón de papa. Se utilizaron tres relaciones de almidón/fibra (95/5; 90/10 y 85/15) y se evaluaron características físicas (espesor y densidad) y propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, elongación, fuerza y fracturamiento). Los resultados mostraron al tratamiento relación almidón/fibra de maíz de 85/15, como aquella que presentó una mejor expansión con fibras, resistencia a la tracción de 0,2132 MPa y elongación 1,58 %, así como resistencia a la prueba de dureza de 17,29 kg y 2,64 mm de fracturabilidad. Estos resultados obtenidos podrían evidenciar la alternativa al uso de bandejas de espuma de poliestireno.

Palabras clave: biopolímeros; envases biodegradables; pruebas de comprensión, pruebas de tensión

ABSTRACT

Biodegradable trays seek to be an alternative solution to the environmental problems caused by the accumulation of plastics. The objective of this work was to evaluate the effect of the addition of white asparagus stump fiber and yellow corn stover fiber on the mechanical properties of potato starch-based biodegradable trays. Three starch/fiber ratios (95/5; 90/10 and 85/15) were used and physical characteristics (thickness and density) and mechanical properties (tensile strength, elongation, strength and fracture) were evaluated. The results showed the 85/15 corn starch/fiber ratio treatment as the one that presented the best expansion with fibers, tensile strength of 0.2132 MPa and elongation of 1.58%, as well as resistance to the hardness test of 17.29 kg and 2.64 mm of fracturability. These results obtained could demonstrate the alternative to the use of polystyrene foam trays.

Keywords: biopolymers, biodegradable packaging, tensile testing, compression testing



1. INTRODUCCIÓN

La producción y uso de envases plásticos en la industria alimentaria ha aumentado significativamente en las últimas décadas, debido al aislamiento térmico que proveen a los productos que contiene. El principal envase utilizado son las bandejas de espuma a base de poliestireno (Chaireh et al., 2020), que tienen como principales ventajas: su bajo costo y fácil procesamiento, amplia aplicabilidad, alta resistencia mecánica, durabilidad, son ligeras, resistentes al agua y proporcionan un buen aislamiento térmico (Cabanillas et al., 2019). Sin embargo, son de material hidrófobo, evitan la rápida proliferación microbiana y tardan cientos de años en descomponerse, lo que hace que se acumule en la naturaleza y constituye un gran problema ambiental (Ferreira et al., 2020), por ser considerados residuos altamente contaminantes (Moghaddam Fard & Alkhansari, 2021).

Por tal motivo, diversas investigaciones buscan desarrollar envases biodegradables a base de biopolímeros, que tengan similares propiedades a los envases de plástico convencionales y puedan sustituirlos (Chaireh et al., 2020). El almidón se considera como un polímero potencial para la producción de bandejas biodegradables en una amplia variedad de condiciones ambientales; siendo su bajo costo, disponibilidad y fácil producción a partir de recursos renovables las principales ventajas para su uso (Aygün et al., 2017). Las bandejas se elaboran mediante la operación de termoformado de una mezcla de almidón, principalmente de yuca, papa, maíz y agua a altas temperaturas; la rápida evaporación del agua permite la expansión del almidón y toma de forma del molde del envase (Cabanillas et al., 2019).

Las bandejas a base de fuentes de almidón en comparación con envases derivados de petróleo poseen debilidades en sus propiedades mecánicas y sensibilidad al agua lo que dificulta su aplicación con fines comerciales (Chaireh et al., 2020). Por lo tanto, es necesario incorporar fibras vegetales que mejoren sus propiedades microestructurales, propiedades fisicoquímicas y mecánicas (Aygün et al., 2017) y permitan reducir la rigidez y capacidad de absorción de agua y aumentar la biodegradabilidad de los composites (Cabanillas et al., 2019). Las fibras con un mayor uso son: fibras obtenidas de Kraft, yute, lino, yuca, trigo, caña de azúcar y espárragos (Kaisangsri et al., 2014; Keya et al., 2019; Nagaraj et al., 2020). Por tal motivo, existe la necesidad de desarrollar investigaciones en la elaboración de bandejas biodegradables a base de almidones de residuos agroindustriales, que podrían ser una opción para la producción a nivel comercial (Cruz-Tirado et al., 2017).

En Perú existen subproductos de la actividad agrícola que tienen en su composición fibras y no tienen valoración agroindustrial; el espárrago (*Asparagus officinalis*), es uno de los principales cultivos agroindustriales (Ramos et al., 2020), tiene como principal subproducto el tocón, que no tiene uso comercial y representa el 13,18 % de merma en su producción (Ruiz Quispe, 2018). De igual forma, el maíz amarillo (*Zea mays* L.) es un cultivo ancestral que tiene entre sus principales residuos las tusas (mazorcas sin granos) a las que no se brinda un tratamiento adecuado y muchas veces son incinerada por no incorporar valor agregado para los agricultores, convirtiéndose en un problema para su manejo ambiental y disposición final (Sari et al., 2021).

Por lo antes mencionado, este trabajo busca desarrollar bandejas de espuma a base de almidón de papa amarilla con dos tipos de fibra, tocón de espárrago (FE) y fibra de tusa de maíz (FM), los cuales podrían ser una opción para mejorar las propiedades mecánicas de este tipo de envase, además de agregar valor y ayudar a ofrecer nuevas alternativas para el tratamiento de residuos en las empresas agroindustriales y las empresas de envasado de alimentos (Machado et al., 2020). En este sentido, se realizó una caracterización y comparación de las propiedades físicas y mecánicas de los envases biodegradables de almidón con fibra de tocón de espárrago y tusa de maíz.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Para la elaboración de las bandejas biodegradables se utilizó papa variedad amarilla (20% amilosa y 80% amilopectina) obtenida de la provincia de Chota, Cajamarca, la cual fue cortada en trozos de 0,5 cm por 1 cm y triturada en una licuadora industrial (Gastro Corp. Modelo: LAR – 04 de 4 litros de capacidad). La pasta de papa resultante se lavó y se filtró a través de tamices < 710 μm . La suspensión líquida de almidón más agua se mantuvo a 10°C durante 24 horas, para recuperar el almidón.

Se descartó el sobrenadante líquido, la fracción de almidón resultante se lavó 3 veces por resuspensión en agua. Finalmente, se secó a 60°C durante 24 horas en una estufa BINDER, se molió y tamizó en bandeja de malla <500 μm de abertura hasta obtener almidón nativo con tamaño de partícula aproximado (400 - 450 μm).

Para la obtención de fibras vegetales se utilizaron residuos agroindustriales tales como tocones de espárrago y tusas de maíz. Los tocones de espárrago se obtuvieron de la empresa Santa Sofía del Sur S.A. y las tusas de maíz provienen de descartes de agricultores del centro poblado de Cascajal, ambos de la provincia de Santa departamento de Ancash, los tocones fueron limpiados y cortados antes de ser secados (Secadora de bandejas THORR con capacidad de 20 kilos) a una temperatura de 80°C durante 6 horas. En el caso de las tusas de maíz se secaron naturalmente en campo. Los tocones y tusas secas se molieron por 30 minutos y se tamizaron (molino de martillos marca THORR) hasta obtener fibras con tamaño de partícula < 1000 μm . El almidón y las fibras vegetales se extrajeron en el Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Santa.

2.2. Elaboración de las bandejas biodegradables

Las bandejas a base de almidón de papa y fibras vegetales de residuos agroindustriales fueron obtenidas utilizando distintas formulaciones en base a resultados previos (no publicados). El almidón y las fibras vegetales se mezclaron y una vez homogenizada la mezcla, se moldeó (Moldeadora Semi Neumática) utilizando una bandeja de acero inoxidable en forma de plato rectangular con medidas de 3 cm de alto, de largo de boca 21,5 cm, largo de fondo 17,5 cm, ancho 14,5 cm y distancia entre largo de boca y largo de fondo de 2 cm. El termo prensado lo realizamos a una temperatura de 150 °C por un tiempo de 20 minutos a una presión de 24 bar. Finalmente, las bandejas se acondicionaron durante 5 días a temperatura ambiente a una humedad relativa de 85%.

Para cada una de las pruebas se utilizó 5 ml de suero de leche y 2,5 g estearato de magnesio. Se determinaron 3 formulaciones en diferentes relaciones de almidón: fibra de 95:5; 90:10 y 85:15. Se realizaron 6 tratamientos diferentes más un tratamiento control que permitirá comparar el efecto de los porcentajes de fibras naturales añadidas con almidón de papa tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.

Componentes de la mezcla utilizada para elaborar bandejas biodegradables a partir de almidón de papa con fibras vegetales de tocones de espárrago y tusas de maíz

Trat.	Relación Almidón/Fibra (g/g)	Agua (ml)	Glicerina (ml)	Estereato de Mg (g)	Suero de leche(ml)
Control	100/0	95	5	2,5	5
TE1	95/5	95	5	2,5	5
TE2	90/10	95	5	2,5	5
TE3	85/15	95	5	2,5	5
TM1	95/5	95	5	2,5	5
TM2	90/10	95	5	2,5	5
TM3	85/15	95	5	2,5	5

2.3. Caracterización

Espesor

Para medir el espesor de las bandejas biodegradables utilizamos un vernier digital de acero inoxidable DC051 (0 - 150 mm). Los valores que reportamos fueron el promedio de 5 medidas tomadas a las bandejas construidas.

Densidad

La densidad (g/cm^3) de cada muestra lo calculamos a partir de su masa (g) y volumen (cm^3). Pesamos y multiplicamos las muestras (25 mm de ancho y 100 mm de largo) por sus dimensiones (espesor x ancho x largo) para calcular el volumen. Los valores que reportamos fueron el promedio de tres repeticiones para cada tratamiento.

Propiedades mecánicas

Para el ensayo de tracción, fijamos en la base de la máquina muestras de bandejas regulares (cortadas desde la base de la bandeja) con dimensiones de 25 x 100 mm² con una separación de agarre inicial de 80 mm y una velocidad de cruceta de 2 mm s⁻¹ a simple romper. Registramos los valores de resistencia a la tracción (MPa) y deformación a la rotura (alargamiento, %). Los valores que reportamos fueron las medias de 3 repeticiones por cada tratamiento.

Las pruebas de compresión lo realizamos utilizando muestras cuadradas de 50 mm de lado. La resistencia a la punción y la fracturabilidad de bandejas se midieron utilizando un accesorio HDP/CFS y una sonda esférica de acero inoxidable P/0,25 S (TA. HD Plus analizador de textura). Se reportaron medias de 3 repeticiones por cada tratamiento.

2.4. Análisis estadístico

Para determinar diferencias significativas entre los tratamientos, utilizamos el análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente la prueba de Tukey con un nivel de significancia establecido en $p < 0,05$. Los análisis lo realizamos en el software estadístico RStudio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Propiedades físicas de las bandejas

En la Figura 1 se muestra el diagrama del espesor de las bandejas biodegradables de almidón de papa con FM y FE, según corresponda. El espesor promedio de la bandeja de control fue de $0,4917 \pm 0,0333$ cm; el espesor de las bandejas con FE osciló entre 0,43 y 0,55 cm y las bandejas con FM osciló entre 0,43 y 0,50 cm.

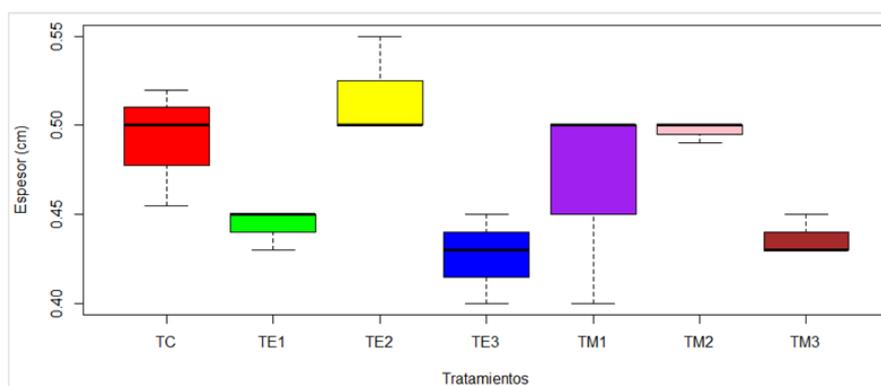


Figura 1. Diagrama de cajas del espesor de bandejas de almidón de papa

Según los resultados obtenidos, a pesar de obtener espesores menores a los del tratamiento de control, la incorporación de fibras no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas (pruebas de Tukey, $p < 0,05$) entre los diferentes tratamientos, esto concuerda con Ferreira et al. (2020) quienes elaboraron platos biodegradables con residuo agroindustrial bagazo de malta y determinaron que el contenido de fibra no afecta significativamente el espesor de las bandejas. De acuerdo al diagrama de cajas, la relación almidón/fibra de 85/15 presentaron la mejor incorporación de FT y FC, con valores promedio de $0,4267 \pm 0,0252$ cm y $0,4367 \pm 0,0115$ cm respectivamente. El tamaño de la fibra influye significativamente en el grosor de la bandeja (Cruz-Tirado et al., 2017), por tal motivo al usar fibra de tamaño 1,0 mm, esto genera disminución de la capacidad de espumación de la mezcla, generando bandejas con menor espesor (Soykeabkaew et al., 2015).

En la Figura 2 se puede observar la relación inversa entre la densidad obtenida y la cantidad de fibra adicionada en la elaboración de bandejas biodegradables a base de almidón de papa. Esta propiedad es una de las propiedades físicas más importantes en relación a la aplicación comercial, debido a que densidades bajas reducen los costos de producción de bandejas (Ferreira et al., 2020).

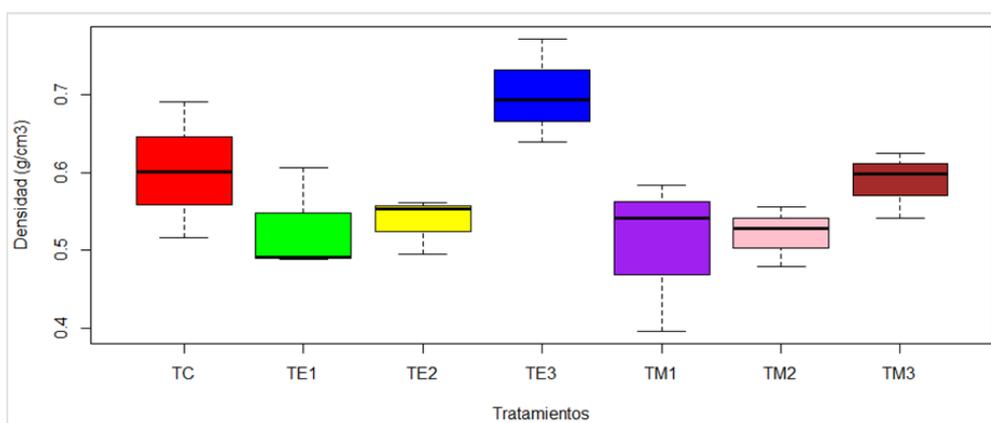


Figura 2. Diagrama de cajas de la densidad de bandejas de almidón de papa

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Figura 2, la menor densidad en la elaboración de bandejas de almidón de papa con FT y FC, lo obtuvimos en la relación almidón/fibra de 95/5, los valores promedio fueron de $0,6030 \pm 0,0870$ g/cm³ y $0,5073 \pm 0,0987$ g/cm³ respectivamente, lo cual se explica porque al añadir un componente que contenga fibra en su composición, en este caso FM y FE, existirá un punto a partir del cual su incremento podrá interferir en la capacidad de expansión de la mezcla durante el termoprensado (Cruz-Tirado et al., 2017), por lo tanto, se obtendrán bandejas biodegradables con mayor densidad (Kaisangsri et al., 2014).

3.2. Propiedades mecánicas

En la Tabla 2 se muestra los valores de las pruebas de tensión y compresión aplicadas a todos los tratamientos, las cuales son consideradas como una de las propiedades mecánicas más importantes al momento de comparar la aplicabilidad comercial de las bandejas de almidón con las bandejas de PE (Salgado et al., 2008).

Tabla 2.

Propiedades mecánicas de bandejas a base de almidón de papa con FT y TE

Tratamientos	Resistencia a la tracción (Mpa)	Elongación (%)	Dureza (kg)	Fracturabilidad (mm)
TC	0,1246 ^{bc}	1,3125 ^{ab}	22,07 ^a	2,33 ^a
TE1	0,1485 ^{bc}	1,3125 ^{ab}	19,5633 ^{ab}	2,69 ^a
TE2	0,1347 ^{bc}	1,2667 ^{ab}	18,5367 ^{ab}	1,8767 ^a

TE3	0,1173 ^c	1,1042 ^b	18,7533 ^{ab}	2,3867 ^a
TM1	0,1825 ^{ab}	1,2333 ^{ab}	14,4333 ^{ab}	2,4133 ^a
TM2	0,1870 ^{ab}	1,5 ^{ab}	17,1967 ^{ab}	2,3533 ^a
TM3	0,2132 ^a	1,5792 ^b	17,29 ^b	2,64 ^a

Nota: Los valores son la media \pm desviación estándar de 5 mediciones por muestra. Los diferentes tipos de letras en las mismas columnas indican las diferencias significativas (prueba de Tukey, $p \leq 0,05$)

El valor de la resistencia a la tracción para la bandeja de control (relación almidón/fibra de 100/10) de 0,1246 MPa tuvo diferentes tendencias según la fibra añadida en su proceso de elaboración. Para las bandejas elaboradas con FE, la relación almidón/fibra de 95/05 presentó un aumento de la resistencia a la tracción, por la presencia de fibra que proporciona una mayor resistencia del material compuesto (Asim et al., 2015; Hoyos Mireles et al., 2021). Sin embargo, en los tratamientos siguientes, donde se incrementó su porcentaje, se produjo una disminución en los valores de resistencia a la tracción, probablemente debido a la aglomeración y discontinuidad de las fibras en la matriz polimérica dificulta su expansión en el termoprensado debilitando la resistencia a la tracción de las bandejas (Cruz-Tirado et al., 2019; Cabanillas et al., 2019).

En cuanto a la resistencia a la tracción, al añadir un mayor porcentaje de fibra las bandejas con adición de FM tuvieron una disminución, mientras que las bandejas elaboradas a base de maíz presentaron un incremento. Asimismo, del análisis de prueba de Tukey ($p < 0,05$), se tuvo diferencias significativas entre los tratamientos y tratamiento de control.

La elongación indica la flexibilidad de la bandeja y la capacidad de estiramiento de las bandejas (Ferreira et al., 2019). El porcentaje de elongación de la bandeja de control fue 1,31%; esta propiedad fue mejor en el caso de la bandeja con FM cuyos valores estuvieron entre 1,23% y 1,58%, valores inferiores al poliestireno expandido comercial (2,82%) (Cabanillas et al., 2019). Las bandejas biodegradables añadidas con FE mostraron una disminución en el porcentaje de elongación por la incorporación de algunas fibras en bandejas biodegradables que producen un incremento del módulo de Young, y consecuentemente originan una menor capacidad elástica (Alvarado et al., 2015). En comparación con los resultados de la bandeja de control, los valores de elongación difirieron significativamente de los valores de las otras bandejas con fibra de maíz y del tratamiento TM3 de la bandeja con fibra de espárrago ($p > 0,05$).

En cuanto al análisis de dureza, todas las bandejas elaboradas con FE y FM presentaron valores menores de dureza que la bandeja de control. El valor de dureza del tratamiento TM3 es el único tratamiento que tiene una disminución significativa según la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Los envases que utilizaron FE obtuvieron valores superiores a los obtenidos con fibra de maíz. La variación de la resistencia a la dureza podría deberse a que la FM tiende a debilitar la cohesión de las estructuras de almidón, disminuyendo la expandibilidad y produciendo discontinuidad en la matriz polimérica (Cruz-Tirado et al., 2017; Velasquez Barreto & Bello-Pérez, 2021).

La prueba de fracturabilidad (mm) ayuda a evaluar la integridad de las bandejas durante el desplazamiento (Aguar Conya et al., 2020; Espina et al., 2016). En general para todos los tratamientos de bandejas elaboradas con FE y FM desfavorece el desplazamiento. Todas las bandejas de almidón biodegradables no presentan variaciones significativas ($p \leq 0,05$) en las concentraciones determinadas en el presente estudio. El menor desplazamiento (mm) es notorio cuando se le incorpora fibra, lo que conlleva a daños en la integridad de las bandejas (Reis et al., 2018).

4. CONCLUSIONES

La investigación desarrollada ha permitido evaluar la posibilidad de fabricación de bandejas biodegradables de almidón de papa con fibra de tocón de espárrago y fibra de tusa de maíz, ambos subproductos obtenidos de la producción agroindustrial en el Perú. La adición de fibras en diferentes relaciones almidón/fibra (95/5; 90/10; 85/15) ha permitido identificar que las bandejas elaboradas con fibra de tusa de maíz presentan una adecuada expansión con fibras homogéneamente distribuidas, resistencia a la elongación, mayor elongación, perforación y resistencias al fracturamiento, siendo el tratamiento TM3 (relación almidón/fibra de 85/15) la bandeja biodegradable que obtuvo una resistencia a la tracción de 0,2132 MPa y elongación 1,58%, así como resistencia a la prueba de dureza de 17,29 kg y 2,64 mm de fracturabilidad.

Los resultados permiten considerar a estas bandejas como potenciales envases de alimentos secos y alternativa al uso de bandejas de espuma de poliestireno. Para futuros trabajos, se debe ampliar el porcentaje de fibras de tusa de maíz y fibra de tocón de espárrago, y evaluar el comportamiento de las bandejas mediante estudios de vida útil, así como determinar la composición química de las fibras y envases biodegradables obtenidos.

FINANCIAMIENTO

Esta investigación fue financiada por la Universidad Nacional Autónoma de Chota a través del contrato de ejecución de Proyecto de Investigación del V Concurso de Emprendimiento e Innovación Start Up N.º 001-2019-UNACH.

CONFLICTO DE INTERESES

El presente artículo no presenta conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Gamboa-Alarcón, P. W.: Conceptualización, curación de datos, metodología, validación.

Díaz-Díaz, E.: Análisis formal, adquisición de fondos, supervisión.

Díaz-Hidrogo, Y.: Investigación, software, visualización.

Cabrera-Guevara, C.: Administración del proyecto, recursos.

Díaz-Díaz, E., Díaz-Hidrogo, Y. & Cabrera-Guevara, C.: Redacción - borrador original, y redacción - revisión y edición.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar Conya, S. A., García Veloz, M. J., & Vallejo Abarca, S. M. (2020). Diseño y elaboración de utensilios biodegradables a partir de la fibra del tallo de banano (*Musa paradisiaca*) como alternativa de uso para mitigar impactos ambientales causados por el plástico. *Ciencia Digital*, 4(1), 373–384. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i1.1118>

Alvarado, S., Sandoval, G., Palos, I., Tellez, S., Aguirre-Loredo, Y., & Velazquez, G. (2015). The effect of relative humidity on tensile strength and water vapor permeability in chitosan, fish gelatin and transglutaminase edible films. *Food Science and Technology*, 35(4), 690–695. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6797>

Asim, M., Abdan, K., Jawaid, M., Nasir, M., Dashtizadeh, Z., Ishak, M. R., & Hoque, M. E. (2015). A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites. *International Journal of Polymer Science*, 2015, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2015/950567>

- Aygün, A., Uslu, M. K., & Polat, S. (2017). Effects of Starch Sources and Supplementary Materials on Starch Based Foam Trays. *Journal of Polymers and the Environment*, 25(4), 1163–1174. <https://doi.org/10.1007/s10924-016-0886-0>
- Cabanillas, A., Nuñez, J., Cruz-Tirado, J., Vejarano, R., Tapia-Blácido, D. R., Arteaga, H., & Siche, R. (2019). Pineapple shell fiber as reinforcement in cassava starch foam trays. *Polymers and Polymer Composites*, 27(8), 496–506. <https://doi.org/10.1177/0967391119848187>
- Chaireh, S., Ngasatool, P., & Kaewtatip, K. (2020). Novel composite foam made from starch and water hyacinth with beeswax coating for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 1382–1391. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.007>
- Cruz-Tirado, J. P., Tapia-Blácido, D. R., & Siche, R. (2017). Influence of Proportion and Size of Sugarcane Bagasse Fiber on the Properties of Sweet Potato Starch Foams. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 225, 012180. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/225/1/012180>
- Cruz-Tirado, J. P., Vejarano, R., Tapia-Blácido, D. R., Barraza-Jáuregui, G., & Siche, R. (2019). Biodegradable foam tray based on starches isolated from different Peruvian species. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 800–807. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.111>
- Espina, M., Cruz-Tirado, J. P., & Siche, R. (2016). Mechanical properties of trays based on starch of native plant species and fiber of agroindustrial wastes. *Scientia Agropecuaria*, 07(02), 133–143. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.06>
- Ferreira, A., Martins, J., Carvalho, L. H., & Magalhães, F. D. (2019). Biosourced Disposable Trays Made of Brewer's Spent Grain and Potato Starch. *Polymers*, 11(5), 923. <https://doi.org/10.3390/polym11050923>
- Ferreira, D. C. M., Molina, G., & Pelissari, F. M. (2020). Biodegradable trays based on cassava starch blended with agroindustrial residues. *Composites Part B: Engineering*, 183, 107682. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107682>
- Hoyos Mireles, B. J., Cieza Díaz, E. del R., & Castro Medina, R. S. (2021). Ecological trays based on banana (*Musa paradisiaca*) and achira (*Canna indica*) leaf blades: Physical, mechanical and chemical characteristics. *Agroindustrial Science*, 11(1), 87–96. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.11>
- Kaisangsri, N., Kerdchoechuen, O., & Laohakunjit, N. (2014). Characterization of cassava starch based foam blended with plant proteins, kraft fiber, and palm oil. *Carbohydrate Polymers*, 110, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.067>
- Keya, K. N., Kona, N. A., Koly, F. A., Maraz, K. M., Islam, M. N., & Khan, R. A. (2019). Natural fiber reinforced polymer composites: history, types, advantages, and applications. *Materials Engineering Research*, 1(2), 69–87. <https://doi.org/10.25082/MER.2019.02.006>
- Machado, C. M., Benelli, P., & Tessaro, I. C. (2020). Study of interactions between cassava starch and peanut skin on biodegradable foams. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 1343–1353. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.098>
- Moghaddam Fard, P., & Alkhansari, M. G. (2021). Innovative fire and water insulation foam using recycled plastic bags and expanded polystyrene (EPS). *Construction and Building Materials*, 305, 124785. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124785>
- Nagaraj, C., Mishra, D., & Durga Prasad Reddy, J. (2020). Estimation of tensile properties of fabricated multi layered natural jute fiber reinforced E-glass composite material. *Materials Today: Proceedings*, 27, 1443–1448. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.864>

- Ramos, E., Provost, K., Calle, S., & Zavala, K. (2020). The impact of asparagus supply chain quality management: An empirical research from Peru. *International Journal of Supply Chain Management*, 9(1). <http://hdl.handle.net/10757/653827>
- Reis, M. O., Olivato, J. B., Bilck, A. P., Zanela, J., Grossmann, M. V. E., & Yamashita, F. (2018). Biodegradable trays of thermoplastic starch/poly (lactic acid) coated with beeswax. *Industrial Crops and Products*, 112, 481–487. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.045>
- Ruiz Quispe, G. F. (2018). *Propuesta de mejora de métodos de trabajo en el proceso de producción de espárrago verde fresco para incrementar la productividad de la asociación agrícola Comositán Alto* [Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/13349>
- Salgado, P. R., Schmidt, V. C., Molina Ortiz, S. E., Mauri, A. N., & Laurindo, J. B. (2008). Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fibers obtained by a baking process. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 435–443. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.08.005>
- Sari, R. M., Torres, F. G., Troncoso, O. P., De-la-Torre, G. E., & Gea, S. (2021). Analysis and availability of lignocellulosic wastes: Assessments for Indonesia and Peru. *Environmental Quality Management*, 30(4), 71–82. <https://doi.org/10.1002/tqem.21737>
- Soykeabkaew, N., Thanomsilp, C., & Suwantong, O. (2015). A review: Starch-based composite foams. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 78, 246–263. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.014>
- Velasquez Barreto, F. F., & Bello-Pérez, L. A. (2021). Chemical, Structural, Technological Properties and Applications of Andean Tuber Starches: A Review. *Food Reviews International*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1933022>



Cumplimiento del derecho a un ambiente sano en relación a la percepción de material particulado en los habitantes de La Banda de Shilcayo

Compliance with the right to a healthy environment in relation to the perception of particulate matter in the inhabitants of La Banda de Shilcayo

Ordóñez-Ruiz, Karina Milagros¹

Ordóñez-Sánchez, Luis Alberto^{1*}

Oblitas-Quiroz, Victor Hugo¹

¹Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú

Recibido: 11 Jul. 2022 | **Aceptado:** 14 Nov. 2022 | **Publicado:** 20 Ene. 2023

Autor de correspondencia*: laordonez@unsm.edu.pe

Como citar este artículo: Ordóñez-Ruiz, K. M., Ordóñez-Sánchez, L. A. & Oblitas-Quiroz, V. H. (2023). Cumplimiento del derecho a un ambiente sano en relación a la percepción de material particulado en los habitantes de La Banda de Shilcayo. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(1), e392. <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.e392>

RESUMEN

Explicar lo que significa ambiente equilibrado incurre en nuestro bienestar total que como personas tenemos, quiere decir, que el bienestar debe ser intra y extra personal, una parte fundamental de ese gozo es justamente el ambiente en el que desarrollamos nuestras actividades, la investigación se desarrolló en el distrito de La Banda de Shilcayo, provincia y departamento de San Martín, con el que se comprobó el cumplimiento a un ambiente sano en relación a la percepción de material particulado en los habitantes del distrito en mención; como parte del acatamiento a nuestros derechos fundamentales, se empleó la metodología de la observación directa, fragmentando a conveniencia de la investigación al distrito de La Banda de Shilcayo, ya que el estudio es de tipo descriptivo, para ello se encuestaron a 90 pobladores in situ de manera técnica y científica, demostrando que más del 70% de la población se encuentra incómoda e intranquila con la presencia de PM10 (polvareda en calles), ello empeora la resignación de los pobladores hacia esta afectación, además, las frecuentes atenciones en el centro de nosocomio, según los expertos, acusan a las enfermedades respiratorias y alergias, quienes diagnostican ser producto del material particulado existente en la ciudad.

Palabras clave: ambiente equilibrado; derecho fundamental; enfermedades respiratorias; material particulado

ABSTRACT

Explaining what a balanced environment means incurs in our total well-being that we have as people, it means that well-being must be intra and extra personal, a fundamental part of that joy is precisely the environment in which we carry out our activities, the research was carried out in the district of La Banda de Shilcayo, province and department of San Martín, with which compliance with a healthy environment was verified in relation to the perception of particulate matter in the inhabitants of the district in question; As part of compliance with our fundamental rights, the direct observation methodology was used, fragmenting the district of La Banda de Shilcayo at the convenience of the investigation, since the study is descriptive, for which 90 residents were surveyed in situ in a technical and scientific way, demonstrating that more than 70% of the population is uncomfortable and uneasy with the presence of PM10 (dust in the streets), this worsens the resignation of the inhabitants towards this affectation, in addition, the frequent attentions in the center of hospitals, according to experts, are accused of respiratory diseases and allergies, which they diagnose as being a product of particulate matter existing in the city.

Keywords: balanced environment; fundamental right; respiratory diseases; particulate matter



1. INTRODUCCIÓN

El material particulado es un contaminante que está en la mayoría de las casuísticas directamente relacionado con las enfermedades respiratorias, lo que lo convierte en un riesgo constante para la salud de las personas (Galvis-Vizcaíno et al., 2021).

La relación que existe del aire no contaminado se encuentra estrechamente ligado con las condiciones más importantes para la salud del hombre, como problema general enunciaremos lo siguiente: ¿Se cumple el derecho a un ambiente sano en relación a la percepción del material particulado en los habitantes de La Banda de Shilcayo?, también se establecieron los problemas específicos:

- ¿Influye el derecho a un ambiente sano la presencia de material particulado (PM10) en la urbe de La Banda de Shilcayo? ¿Cómo?
- ¿Existe impacto en la tranquilidad de la población la presencia de material particulado (PM10) en el distrito de La Banda de Shilcayo?

Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente EPA (2022), menciona que el viento puede trasladar los polvos mediante extensos recorridos. Las partículas chicas de menor a 10 micrómetros de diámetro acusan las grandes dificultades porque pueden llegar a la profundidad de los pulmones, y algunas hasta pueden alcanzar el torrente sanguíneo.

Fischer & Beltrán (2021) quienes realizaron un análisis del material particulado, asumiendo la percepción de calidad de aire en tres ciudades de Bogotá, Colombia, donde hallaron a la ciudad de Kennedy, como la más contaminada por PM10 y PM2,5, encontrándose una correlación significativa de mejor percepción de la calidad del aire con altos niveles socioeconómicos.

Saavedra Bayona et al. (2022) afirman que existe una probable relación entre las concentraciones de partículas, materia y síntomas respiratorios en niños menores 17 años (tos, flema, dificultad para respirar, estornudos y sequedad nasal), que muchas veces suelen pasar como insignificantes, a esto se añaden las inadecuadas condiciones viales que ocasiona polvareda activa en la urbe.

¿Qué es PM?

Material particulado (MP), contaminante atmosférico que incumbe con partículas líquidas o sólidas que se encuentran en suspensión, existiendo la posibilidad de catalogarlos de acuerdo con radio en PM10 (grueso) y PM2,5 (fino). Es así que, el PM2,5 se encuentra contenido en el PM10. Existe, además, el llamado PM ultrafino, de alrededor de 0,1 μm de diámetro. La concentración de MP se mide en microgramos por metro cúbico normal ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$).

¿Qué es el PM respirable?

Alcanzan los polvos de diámetro pequeño a 10 μm , es decir el PM10. Estas partículas ingresan a todo el sistema respiratorio hasta los pulmones, originando molestias internas y externas e iniciando otras enfermedades (INFOBAE, 2021).

Para Leal Esper & Castiblanco Ramírez (2020), el cuidado de los derechos ambientales, así como los que se devienen de éste, como el de la protección a la salud, por ejemplo, depende de entidades creadas para que tal fin cumplan cabalmente sus oficios, como, por ejemplo, resguardar los el entorno ambiental, diligenciar las acciones de vigilancia las fuentes móviles de polución, como los vehículos motorizados.

Es así que se justifica de manera social, ya que la información verídica expresada va a brindar sustento a la toma de decisiones políticas que se tomen en cuanto al distrito en estudio, elevando los niveles sanitarios y primordiales en los que todo ser humano tiene el derecho a desarrollar su vida; la practicidad también se ve relacionada en este tipo de contaminación ya que en los tres niveles de gobierno nos amparamos, acusamos al Estado la noble misión de proteger nuestros derechos fundamentales.

El propósito de la investigación es determinar si se cumple el derecho a un ambiente sano en relación a la presencia del material particulado, y la percepción real de la población con respecto a este contaminante en el distrito de La Banda de Shilcayo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el distrito de La Banda de Shilcayo, cuya ciudad lleva el mismo nombre, provincia y departamento de San Martín, en cuanto al tipo de investigación que se utilizó fue básica, ya que busca el aumento del conocimiento para responder preguntas y que esos conocimientos puedan ser aplicados en otras investigaciones.

El diseño de la investigación no fue experimental, ya que no se manipuló variable alguna, solo se brindó atención respectiva al comportamiento en su entorno natural donde luego se analizaron, esto según Hernández Sampieri et al. (2014). Por lo tanto, tenemos un estudio descriptivo ya que se recolectó información en un momento dado, cuya intención es la de narrar y estudiar el suceso en relación a un momento establecido, según Hernández Sampieri et al. (2014). Para el cálculo de la población, se utilizó la fórmula de la población futura, contando con una población censal al 2007 de 29 111 habitantes y al 2017 fue de 43 481 habitantes (CODISEC, 2020).

Se procedió a calcular la razón de crecimiento poblacional.

$$\% r = \frac{P_f - P_i}{P_i}$$

Donde:

r = Razón de crecimiento poblacional

Pr = Población futura

$$\% r = \frac{43\ 481 - 29\ 111}{29\ 111}$$

r = 0,0049

Cálculo de la población futura.

$$Pf_{2022} = P_0 [1 + r (t - t_0)]$$

Donde:

Pf_{2021} = Población futura al 2022

P_0 = Población actual al 2017

r = Razón de crecimiento poblacional

$$Pf_{2022} = 43\ 481 [1 + 0,0049 (2022 - 2017)]$$

$$Pf_{2022} = 43\ 481 [1 + 0,0049 (5)]$$

$$Pf_{2022} = 43\,481 [1+0,0245]$$

$$Pf_{2022} = 43\,481 [1,0245]$$

$$Pf_{2022} = 44\,546 \text{ habitantes}$$

Para la muestra se utilizó la fórmula de muestreo aleatorio simple:

$$n = \frac{(Z)^2 (N)(p)(q)}{(e)^2 (N-1)+z^2 (p)(q)}$$

Donde:

n = tamaño necesario de la muestra

Z = margen de la confiabilidad (95%)

P = probabilidad de que el evento ocurra (50%)

Q = probabilidad de que el evento no ocurra (50%)

E = error de estimación (5%)

N = tamaño de la población

$$n = \frac{(0,95)^2 (44\,546)(0,50)(0,50)}{(0,05)^2 (44\,546-1)+(0,95)^2 (0,50)(0,50)}$$

$$n = \frac{(0,9025) (44\,546)(0,50)(0,50)}{(0,0025) (44\,545)+(0,9025) (0,50)(0,50)}$$

$$n = \frac{10\,050}{111,4+0,226}$$

$$n = \frac{10\,050}{111,626}$$

La muestra fue de $n = 90$ habitantes encuestados.

El muestreo que se empleó es no probabilístico completamente al azar, a conveniencia del investigador, de acuerdo con Otzen & Manterola (2017); 3 médicos del hospital de La Banda de Shilcayo y 3 médicos de especialistas de otros hospitales del distrito de Tarapoto.

Las técnicas de recolección de datos que se ejecutó son la de observación directa porque según Gómez Bastar (2012), la investigación muestra atención y almacena datos reales, también se empleó la observación participante, ya que hubo participación del investigador, con la intención de mejorar el análisis se añadió la observación cualitativa, para recolectar y analizar la documentación según Gómez Bast (2012), como el análisis documental, entrevista y encuesta.

Asimismo, se usaron instrumentos como guía de entrevistas a los expertos en salud (6) y guía de encuestas a los pobladores bandinos creados exclusivamente para la presente investigación (90). La confiabilidad de los datos de la investigación se ratificó empleando el coeficiente definido por Alfa de Cronbach, con el propósito de alcanzar la confianza en entrevistas y las encuestas; en cuanto los resultados se utilizó la media estadística, para sistematizar la información requerida, con una confiabilidad del 100%.

Se trabajó con la Teoría de hallazgos, ya que se resuelve la investigación basándose en los hallazgos relacionados con las alegaciones, esto según la International Business Machines Corporation - IBM (2021).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Influencia de la presencia de material particulado en relación al derecho a un ambiente sano en la urbe de La Banda de Shilcayo

El 90% de la población encuestada aseveró que siente la presencia del material particulado o polvo (Figura 1) como se le conoce criollamente a este contaminante, el cual no es de su agrado, por lo que es una incomodidad silenciosa y casi invisible, que no muestra su lado perjudicioso a las personas.

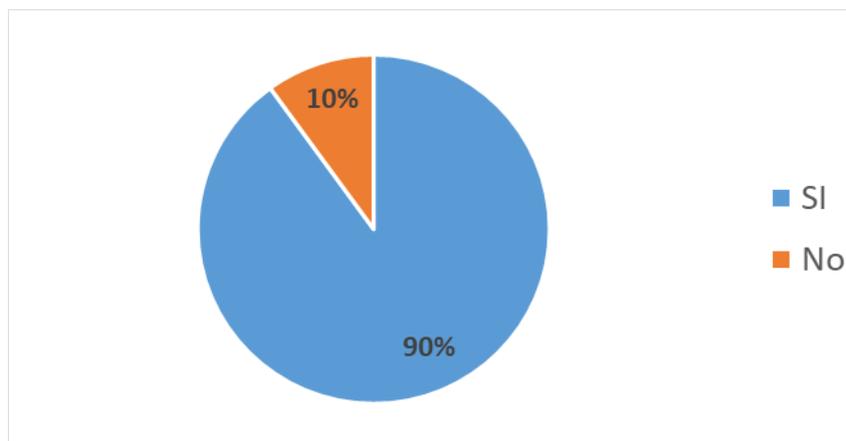


Figura 1. Presencia del polvo en la percepción de la población

En la investigación realizada por Ordóñez Ruiz (2022), donde evaluó la percepción de la población bandina, quienes manifestaron abiertamente su incomodidad por la presencia de material particulado dentro de sus viviendas y fuera de este, ya que el incremento del parque automotor es el principal causante de esta problemática invisible (Arellano Gamarra, 2019).

Asimismo, de acuerdo con la STC N° 2002-2006-PC/TC. Sentencia del Tribunal Constitucional (2006), tiene como finalidad la protección del derecho a un medio ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida, conviene examinar determinados elementos que forman parte del contenido constitucionalmente protegido de este derecho, en este caso el material particulado, en cualquiera de los tamaños que encontremos suspendidos en la atmósfera.

El 85% de los habitantes de La Banda de Shilcayo se acostumbraron a convivir con el material particulado (Figura 2), manifiestan una resignación ante esta característica, lo que conlleva a precisar que existe desconocimiento poblacional en cuanto a los derechos que por ser un Estado de derecho sostienen, es más grande la desconfianza a exigir lo que por ley deben contar, como la prevención a cualquier tipo de enfermedad que por exposición constante se pueda ocasionar, Fischer García (2020) menciona que debido al grave peligro que representa para la salud y la vida, especialmente por el PM_{2,5} el sistema de prevención, alerta y emergencia, es una medida apropiada para disminuir el riesgo de la población vulnerable a problemas respiratorios y cardiopulmonares.



Figura 2. Costumbre a convivir con el material particulado en los habitantes de la población bandina

3.2. Impacto en la tranquilidad de la población ante la presencia de material particulado en el distrito de La Banda de Shilcayo

El 75% de los habitantes de la población bandina sienten incomodidad ante la presencia del material particulado, ya que circunda a cada hora del día dentro de sus viviendas y fuera de éste, la asociación entre la exposición a MP y los efectos en la salud humana han sido estudiados en niños, adultos y adultos mayores; relacionándose con el desarrollo de diferentes condiciones de salud como el déficit cognitivo, enfermedades neurodegenerativas y desórdenes neurológicos, aunque los efectos más destacables de la exposición a MP se presentan en los sistemas cardiovascular y respiratorio, de acuerdo con el estudio de Galvis-Vizcaíno et al. (2021).



Figura 3. Incomodidad ante la presencia de material particulado en los habitantes bandinos

Según el estudio de Robles Morales et al. (2019), existe relación significativa entre el material particulado producido y las demás fuentes de contaminación identificadas con las infecciones respiratorias agudas que puedan presentar las personas a cualquier edad de su vida, ya que los pobladores manifestaron sentir alergias continuas en el sistema respiratorio.

También manifestaron de manera expresa la percepción ante la presencia del material particulado en una escala del 1 al 10 (Figura 4), el 20% de los habitantes se encuentran en la escala 8; el 25% están en la escala 9 y 10, lo que comprueba la incomodidad de este contaminante, como volvemos describirlo, invisible, pero generador de intranquilidad y posible causal de daño a la salud de las personas.

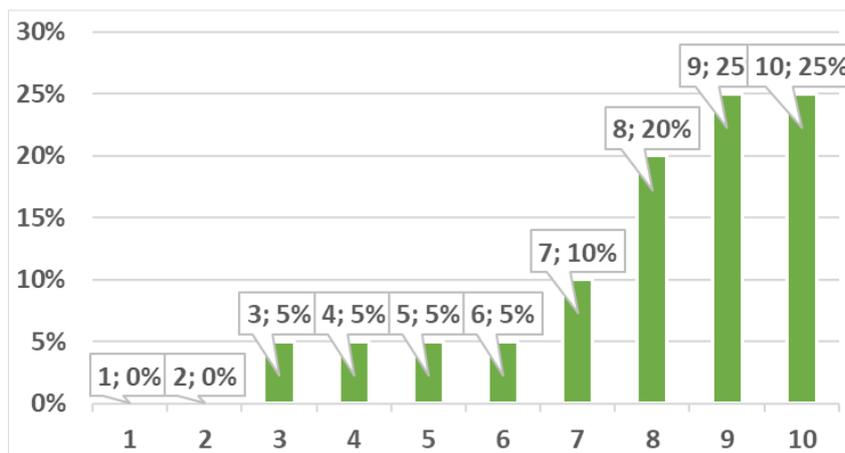


Figura 4. Percepción de la presencia de material particulado, en escala del 1 al 10

En el estudio de Galindo-Ruiz & Silva-Núñez (2016), aseveran que la afectación por partículas en suspensión es inevitable y sus efectos en la mayoría de los casos son irreversibles ya que afecta la salud de las personas de forma directa al respirar, faltaría definir cuáles de los tipos de material particulado es el que más continuamente se encuentra en la población bandina, asimismo, Ordóñez Ruiz (2022), concluye que el 67% de especialistas en la salud, manifiestan que entre el ruido y polvo, lo que más afecta a los pobladores es el PM10.

3.3. Evaluar el cumplimiento del derecho a un ambiente sano con respecto a la percepción de material particulado en los habitantes de La Banda de Shilcayo

El 100% de los expertos en salud manifiestan que el material particulado es una de las causas principales de las IRA (Infecciones Respiratorias Agudas) que son tratadas dentro de los nosocomios a los cuales brindan sus servicios (Figura 5), esto concuerda con Robles Morales et al. (2019), manifestando que existe una relación significativa entre el material particulado (PM10), producido por el tajo abierto y las demás fuentes de contaminación, y las infecciones respiratorias agudas (IRA) que afectan a la población.

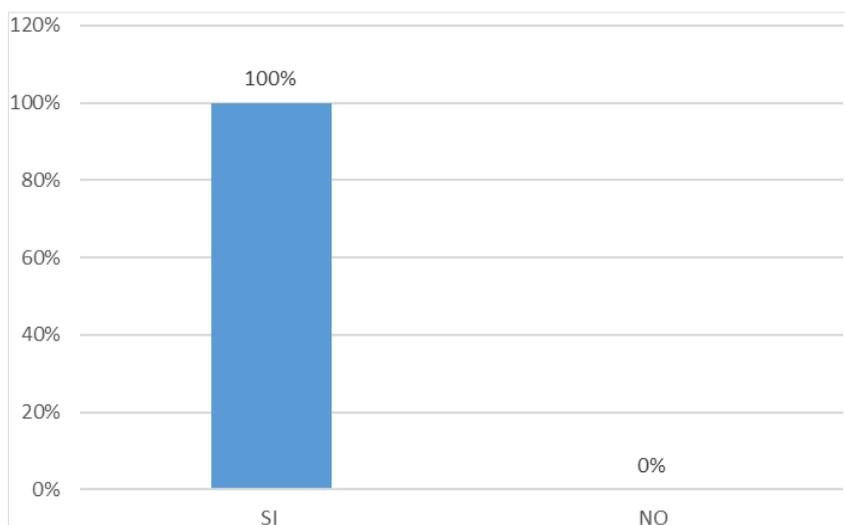


Figura 5. IRA a causa del material particulado en nosocomios

Existe una contradicción en cuanto a los resultados cuantificados de los resultados de monitoreo de PM10 presentados por Ordóñez Ruiz (2022), donde demuestra que la presencia de material particulado en la población del distrito de La Banda de Shilcayo cumple con el ejercicio del derecho a un ambiente equilibrado $-61,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10), resultado que se encuentra por debajo de los ECA aire, empero, la

incomodidad, intranquilidad y afectación al bienestar de los pobladores bandinos se demuestra con este contaminante.

La Constitución Política según el Artículo N°2 inciso 22 (2010) establece que “toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida”. Este derecho además se encuentra expresado en varios instrumentos internacionales de derechos humanos, entre los que se encuentran el Protocolo Adicional a la Convención Americana sobre Derechos Humanos en materia de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, según la Resolución Legislativa N° 26448-MINEM (1998) establece que: “toda persona tiene derecho a vivir en un medio ambiente sano y a contar con servicios públicos básicos” y, es así que, “los Estados partes suscitarán la protección, preservación y mejoramiento del medio ambiente”.

En la STC N° 2001-0018-AI/TC. Sentencia del Tribunal Constitucional (2002), establece que no se limita a un atributo subjetivo del ser humano de vivir en un medio ambiente, sino que ese ambiente debe ser “equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida”.

Para gozar del derecho a la salud y a un medio ambiente adecuado al desarrollo de la vida es necesario contar con un aire libre de contaminación. Sin embargo, como señala el Gerente del Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental de la OMS: “La contaminación del aire se ha convertido en una de las principales preocupaciones de la salud pública en muchas ciudades de ALC, donde las concentraciones de partículas y de otros contaminantes exceden las normas nacionales de calidad del aire”, según el estudio de la OPS (2016).

En relación a lo expuesto la Defensoría del Pueblo (2006), sostiene que la calidad del aire determina, junto a otros factores, el goce efectivo de derechos humanos fundamentales, tales como la vida, la salud y el ambiente, además, manifiesta que tener una calidad del aire calificada como peligrosa o riesgosa para la salud implica una vulneración a los derechos a la salud, la vida y a vivir en un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida consagrados en la Constitución Política.

Terminamos con Tapia et al. (2018), quienes afirman que el reordenamiento vehicular como medida de gestión municipal, podría estar contribuyendo con la disminución continua de diversos contaminantes, esto es lo que más urge en este distrito, ya que la falta de orden y conciencia de las personas incrementa la indiferencia de este contaminante.

Respirar aire limpio es una forma de asegurar una mejor salud para las personas (Arellano Gamarra, 2019), en esto el Estado viene generando políticas e instrumentos que de alguna manera avalan este derecho fundamental.

4. CONCLUSIONES

No se cumple el derecho constitucional a un ambiente sano sin contaminación por PM10, esto de acuerdo a la percepción local, ya que un 90% de los habitantes sienten la presencia del material particulado, el 75% siente incomodidad ante la presencia del material particulado, con ello se demuestra que nos encontramos muy lejos de gozar este privilegio que por nuestra sola condición de persona, tenemos derecho de disfrutar (ambiente sano/equilibrado), esto empeora, con el desconocimiento de nuestros propios derechos y lo hace más grave la resignación a no contar con ellos, el 85% de los pobladores de La Banda de Shilcayo se acostumbró a convivir entre la polvareda, percibiéndolo como algo cotidiano o común.

Las autoridades regionales y locales deben tomar decisiones técnicas y políticas claras para dar cumplimiento a nuestros derechos, ya que las políticas nacionales están establecidas, el 100% de los expertos en salud manifiestan que el material particulado es una de las causas principales de las IRA (Infecciones respiratorias agudas) que son tratadas dentro de los nosocomios a los cuales brindan sus servicios, existiendo contradicción con investigaciones similares, quienes manifiestan los resultados

cuantificados de PM10, se encuentran por debajo de los ECA aire, generando nuevas investigaciones para consolidar las razones científicas de dicha controversia.

FINANCIAMIENTO

Ninguno

CONFLICTO DE INTERESES

El presente artículo no presenta conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Ordóñez-Ruiz, K. M.: Conceptualización, investigación, redacción (revisión y edición).

Ordóñez-Sánchez, L. A.: Metodología, investigación.

Oblitas-Quiroz, V. H.: Análisis formal, tratamiento de datos, redacción (borrador original).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arellano Gamarra, E. F. (2019). *Nivel de contaminación atmosférica por material particulado (PM10) y su composición metálica en el área urbana del distrito de Cusco* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/12142>

Artículo N°2 inciso 22. (2010). La Constitución establece como uno de los derechos fundamentales el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida (28 de mayo de 2010). *Oficio N° 712-2010-SG-MINAM*, 1–5.

<https://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2008/diciembre/13/EXP-DS-008-2008-MINAM.pdf>

CODISEC. (2020). Plan de Acción Distrital de Seguridad Ciudadana del Distrito de la Banda de Shilcayo. *Comité Distrital de Seguridad Ciudadana*, 1–51. <https://mdbsh.gob.pe/files/resoluciones/PLAN DE ACCION 2020.pdf>

Defensoría del Pueblo. (2006). Informe Defensorial N° 116. La Calidad del aire en Lima y su impacto en la salud y vida de sus habitantes. *Informe Defensorial*, 116, 1–82.

[http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/ApoyComisiones/comision2011.nsf/021documentos/8B420108E4101D0705258154005B4D7F/\\$FILE/Informe_N_116.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/ApoyComisiones/comision2011.nsf/021documentos/8B420108E4101D0705258154005B4D7F/$FILE/Informe_N_116.pdf)

EPA. (2022). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente*. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Fischer, F. L., & Beltrán, D. F. (2021). Análisis del material particulado en relación con la percepción de la calidad de vida en tres localidades de Bogotá - Colombia. *Gestión y Ambiente*, 24(2), 98601.

<https://doi.org/10.15446/ga.v24n2.98601>

Fischer García, F. L. (2020). *Análisis espacial del material particulado en relación con la percepción de la calidad de vida en tres localidades de Bogotá - Colombia* [Universidad el Bosque].

<http://hdl.handle.net/20.500.12495/5540>

Galindo-Ruiz, J. S., & Silva-Núñez, H. D. (2016). *Impactos ambientales producidos por el uso de maquinaria en el sector de la construcción* [Universidad Católica de Colombia].

<http://hdl.handle.net/10983/12566>

Galvis-Vizcaíno, S. A., León-Barraza, I. R., Padilla-Urueta, K. del S., Pombo-Navas, M. Y., Rada-Carrillo, M. B., Vera-Brand, J., Rebolledo-Cobos, R. C., Galvis-Vizcaíno, S. A., León-Barraza, I. R., Padilla-Urueta, K. del S., Pombo-Navas, M. Y., Rada-Carrillo, M. B., Vera-Brand, J., & Rebolledo-Cobos, R. C. (2021). Material

- particulado y trastornos de los sistemas cardiovascular y respiratorio en trabajadores de diferentes áreas: una revisión narrativa. *Revista de La Asociación Española de Especialistas En Medicina Del Trabajo*, 30(3), 362–372. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-62552021000300011&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Gómez Bastar, S. (2012). *Metodología de la investigación* (1st ed.). Red Tercer Milenio.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6th ed.). McGRAW-ILL/Interamericana-editores, S.A.
- INFOBAE. (2021). *Calidad del aire en Quilicura de hoy 1 de diciembre de 2021 - Condición del aire ICAP*. ProQuest. <https://www.proquest.com/docview/2605580485?accountid=37408&forcedol=true>
- International Business Machines Corporation - IBM. (2021). *Especificar hallazgos de la investigación*. IBM Cúram Social Program Management. <https://www.ibm.com/docs/es/spm/7.0.0?topic=process-entering-allegation-findings>
- Leal Esper, Y. E., & Castiblanco Ramírez, E. (2020). La contaminación atmosférica en el Municipio de San José de Cúcuta – Colombia. *Saber, Ciencia y Libertad*, 15(1). <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2020v15n1.6309>
- OPS. (2016). *Calidad del aire*. Organización Panamericana de La Salud. <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
- Ordóñez Ruiz, K. M. (2022). *Derecho a un ambiente equilibrado sin contaminación sonora y PM10, en el distrito de La Banda de Shilcayo, 2021* [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/80060>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Resolución Legislativa N° 26448-MINEM. (1998). Protocolo Adicional a la Convención Americana sobre Derechos Humanos en Materia de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (17 de noviembre de 1988). *Artículo N° 11 Inciso (1 y 2)*, 1–15. http://www.mimp.gob.pe/files/direcciones/dgfc/diff/iiv/sistemainteramericano_oea/2_ResolucionLegislativa_26448_PACADHEMDESC.pdf
- Robles Morales, E. G., Medina Escudero, A. M., & Medina Escudero, C. S. (2019). La contaminación del aire por el material particulado y su relación con las enfermedades de tipo respiratorio en la población de Cerro de Pasco (2010 y 2016). *Industrial Data*, 22(1), 173–186. <https://doi.org/10.15381/idata.v22i1.16533>
- Saavedra Bayona, B. J., Sepúlveda Villamil, A. F., Sierra Parada, R. J., & Blanco Becerra, L. C. (2022). Association between particulate matter and respiratory symptoms in students in the municipality of Guachetá, Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 104, 168–177. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20210954>
- STC N° 2001-0018-AI/TC. Sentencia del Tribunal Constitucional. (2002). *Acción de inconstitucionalidad interpuesta por el Colegio de Abogados del Santa contra la Ordenanza Municipal N.° 016-2001-MSP, emitida por la Municipalidad Provincial del Santa-Chimbote* (pp. 1–2). Tribunal Constitucional. <https://www.tc.gob.pe/jurisprudencia/2003/00018-2001-AI.html>
- STC N° 2002-2006-PC/TC. Sentencia del Tribunal Constitucional. (2006). *Recurso de agravio constitucional* (pp. 1–27). Tribunal Constitucional. <https://tc.gob.pe/jurisprudencia/2006/02002-2006-AC.pdf>
- Tapia, V., Carbajal, L., Vásquez, V., Espinoza, R., Vásquez-Velásquez, C., Steenland, K., & Gonzales, G. F.

(2018). Reordenamiento vehicular y contaminación ambiental por material particulado (2,5 y 10), dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en Lima Metropolitana, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 190. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3250>



Evaluación de la sostenibilidad socioeconómica y ecológica de los sistemas de producción orgánica y convencional del café en la cuenca del Cumbaza

Evaluation of the socioeconomic and ecological sustainability of the organic and conventional production systems of coffee of the cuenca del Cumbaza

Maldonado-Vásquez, Segundo Darío¹

Alvarado-Ramírez, Jaime Walter¹

García-Bautista, Aquilino¹

Arévalo-Gardini, Enrique^{2,3}

Ordóñez-Sánchez, Luis Alberto^{1*}

¹Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú

²Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas, Yurimaguas, Perú

³Instituto de Cultivos Tropicales, Tarapoto, Perú

Recibido: 29 Oct. 2022 | **Aceptado:** 05 Dic. 2022 | **Publicado:** 20 Ene. 2023

Autor de correspondencia*: laordonez@unsm.edu.pe

Como citar este artículo: Maldonado-Vásquez, S. D., García-Bautista, A., Ordóñez-Sánchez, L. A., Alvarado-Ramírez, J. W. & Arévalo-Gardini, E. (2023). Evaluación de la sostenibilidad socioeconómica y ecológica de los sistemas de producción orgánica y convencional del café en la cuenca del Cumbaza. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(1), e450.

<https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.e450>

RESUMEN

En San Martín, el café es uno de los principales productos agrícolas para el mercado mundial; sin embargo, la producción enfrenta problemas y desafíos sociales, ambientales, ecológicos y económicos, que lo colocan en un nivel de alta vulnerabilidad productiva. El objetivo fue evaluar la sostenibilidad socioeconómica y ecológica de los sistemas orgánicos y convencionales del café. Se realizó en la cuenca del río Cumbaza, cordillera escalera, en las comunidades nativas Aviación, Chiricyacu y Chinchivi. Las mediciones de indicadores socioeconómicos fueron realizadas mediante entrevistas semiestructuradas. Se construyeron índices de 0 a 10, para cada indicador, a partir de valores y referencias, los que están relacionados a niveles de sostenibilidad. El sistema de producción orgánica certificada, presentó mayor sostenibilidad económica para los diferentes indicadores: precio, mercado, margen bruto/ha, productividad del trabajo y relación beneficio costo. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para los indicadores: productividad del café, costo de producción y costo unitario. El sistema de producción orgánica certificada mostró mayor sostenibilidad socioeconómica que el sistema convencional, debido principalmente al más alto precio del café.

Palabras clave: agricultura tradicional; caficultura sustentable; factores productivos del café

ABSTRACT

In San Martín, coffee is one of the main agricultural products for the world market; however, production faces social, environmental, ecological and economic problems and challenges, which place it at a level of high productive vulnerability. The objective was to evaluate the socioeconomic and ecological sustainability of organic and conventional coffee systems. It was carried out in the Cumbaza river basin, Escalera mountain range, in the Aviación, Chiricyacu and Chinchivi native communities. The measurements of socioeconomic indicators were carried out through semi-structured interviews. Indices from 0 to 10 were built for each indicator, based on values and references, which are related to levels of sustainability. The certified organic production system presented greater economic sustainability for the different indicators: price, market, gross margin/ha, labor productivity, and cost-benefit ratio. No significant differences were found between the treatments for the indicators: coffee productivity, production cost and unit cost. The certified organic production system showed greater socioeconomic sustainability than the conventional system, mainly due to the higher price of coffee.

Keywords: traditional agriculture; sustainable coffee farming; coffee productive factors



1. INTRODUCCIÓN

En San Martín, Perú, la producción de café es el uso más representativo del territorio, donde están pequeñas y medianas parcelas de café, generalmente bajo el sistema agroforestal, orgánico y convencional, con sombras de diferentes especies forestales; y, a veces frutícolas. Existe abundante información inexplorada, referente a la producción del café, en los temas socioeconómicos y ecológicos que requiere ser investigada, a fin de fomentar su desarrollo sostenible.

Este problema es relevante, pues el deficiente gobierno de los recursos naturales, está generando el requerimiento de fortalecer los elementos de sostenibilidad, convirtiéndose en un parámetro de valoración que, sea apto de concebir encargos de pericias, que conduzcan a permutas reales en la sustentabilidad social y económica y también ecológica de los sistemas de agricultores orgánicos y convencionales, para tomar decisiones reales en proyectos de desarrollo. La pequeña cuenca del río Cumbaza ostenta un área alrededor de las 57 120 hectáreas. Esta superficie está circundada de espacios urbanos constituidos por Tarapoto, Morales y La Banda de Shilcayo (cerca de 240 mil seres humanos), en consecuencia, ostenta fuerte movimiento social, muy abundante y a la vez delicado (CGMC, 2015).

Hay carencia de ejecución de la gobernabilidad del agua en la cuenca Cumbaza y que, la comisión de los caudales acuáticos posee un nivel de consumación bajo (30 %), yaciendo el elemento financiero de más preocupación, por la ausencia de carácter política de las soberanías para asegurar los recursos de inversiones y expensas periódicas (Gárate Ríos, 2021). Por ejemplo, las chacras de café orgánico en el Alto Mayo (San Martín), son más sostenibles que las de obtención convencional, aunque existen puntos críticos en los que hay requerimiento de atarearse para incrementar la sustentabilidad y convertirla en perdurable en lapsos de tiempo mayores (Rojas Ruiz et al., 2021).

En los últimos 20 años, las fincas cafetaleras y los paisajes de toda la región han sufrido cambios biofísicos rápidos y profundos en respuesta a los bajos precios del café, las condiciones climáticas cambiantes, los brotes graves de patógenos de plantas y otros factores (Harvey et al., 2021). Los agricultores certificados obtienen significativas utilidades, que conducen al incremento general en los ingresos de los hogares a través de estándares de 16 a 22 % (Meemken, 2020). Existe evidencia de una variedad de beneficios sociales, económicos y ambientales de la certificación. Estas certificaciones tienen el potencial de crear valor para los pequeños productores, ya que cierto café certificado conlleva una prima de mercado (Wahyudi et al., 2020).

Los problemas relacionados con los pequeños agricultores en el sector del café, son el acceso limitado al mercado, el capital insuficiente y las organizaciones de agricultores subdesarrolladas (Ibnu et al., 2020). La mayoría de los agricultores no pueden alcanzar el punto de equilibrio, independientemente de su estado de certificación (Dietz et al., 2020). Existe necesidad urgente de una transición global hacia sistemas agrícolas sostenibles y amigables con la vida silvestre que brinden equidad social, económica y resguarden los valores ecosistémicos de los que se aguarda la actividad agraria (Campera et al., 2021), aunque, las fincas a las que se les ha otorgado una certificación interna demuestran una mejor conducta ambiental pero no una mejor conducta social que las fincas no certificadas (Giuliani et al., 2017).

Los problemas que afrontan los caficultores están referidos a los factores bióticos. Se identificaron como importantes, las enfermedades, las plagas de insectos, las especies de malezas y los animales vertebrados. La sequía recurrente, las heladas, el patrón de lluvia fluctuante, la alta humedad, la alta temperatura, la baja humedad, el granizo, las tormentas, el viento y la fertilidad reducida del suelo, se encuentran entre los factores abióticos que afectan la producción de café y que podrían causar una pérdida de rendimiento de hasta el 70% (Tadesse et al., 2020), pues, la valorización y revalorización del SCG (pozos de café gastados) tiene un gran impacto en la sostenibilidad socioeconómica y ambiental. de la industria, hasta la realización de la bioeconomía circular (Gebreyessus, 2022).

La Agricultura Orgánica (OA) es un ejemplo destacado, que ha recibido una atención sustancial de la investigación relacionada con el desempeño agronómico y ambiental (Curran et al., 2020). La relación positiva entre la identidad propia de sostenibilidad y la intención de comprar café con la etiqueta de sostenibilidad fue moderada por el escepticismo sobre el cambio climático (Chen, 2020). Los productores que expanden sus cafetales hacia áreas boscosas tienen mayores niveles de sostenibilidad que aquellos productores que convierten actividades agrícolas en cafetales y productores con ambas transiciones en expansión-conversión cafetalera (Jiménez-Ortega et al., 2022).

Desarrollar un sistema agrícola más razonable y cuidadoso con los humanos y el ecosistema, es fundamental para garantizar el acceso de las generaciones futuras a los recursos naturales. En el caso del café arábica, se ha encontrado la solución. La agrosilvicultura se propone como una estrategia basada en ecosistemas para mitigar y adaptarse al CC. Al menos el 60% del café Arábica se produce en sistemas agroforestales (SAF), que son la forma más sostenible de producir café (Breitler et al., 2022).

Los rendimientos más bajos de los pequeños agricultores podrían abordarse mediante la gestión de los niveles de sombra o mediante esquemas de pagos por servicios ambientales. En comparación con los monocultivos de café y tubérculos, la agrosilvicultura de pino-café proporcionó niveles más altos de servicios de apoyo y regulación; sin embargo, los rendimientos del producto fueron menores (Fitch et al., 2022).

Resulta imperante, presentar la geomorfología y la geografía aplicada como líneas de base en la planificación del uso del suelo para paisajes agrícolas, impulsores socioeconómicos y el rendimiento del café de altura (Quesada-Román et al., 2022). La producción de café de calidad representa el resultado de los esfuerzos de múltiples partes interesadas, y sugieren las intervenciones políticas para mejorar la producción colaborativa de café de calidad mediante el empoderamiento de los grupos de interés en los métodos de emprender disposiciones en la cadena de valor del café, que son importantes para hacer a los medios de vida basados en el café sostenibles y resilientes al cambio climático (Adane & Bewket, 2022).

Existe razón justificada para la ejecución de la presente investigación, pues, los pequeños productores de café de los dos sistemas (convencional y orgánico), conviven en el mismo territorio; sin embargo, los primeros ofrecen férrea resistencia de cambio al otro sistema. Entonces, faltaba ofertar nuevos conocimientos que arguyan y propendan inclinar su decisión de cambio; por ejemplo, los productores orgánicos certificados presentan la gran ventaja de destinar su producción al comercio de exportación, lo cual conlleva a un sobreprecio del café; además, presenta mayor sostenibilidad económica para diferentes indicadores como precio, mercado, margen bruto/ha, productividad del trabajo y relación beneficio costo.

El propósito del estudio fue evaluar la sostenibilidad socioeconómica y ecológica de los sistemas de producción orgánica y convencional del café, en la cuenca del río Cumbaza, distrito de San Roque. El aumento de la conciencia de los consumidores sobre los problemas de sostenibilidad ha llevado a la creciente adopción de estándares voluntarios de sostenibilidad en la agricultura (Winter et al., 2020).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Desarrollamos la investigación en el espacio circundante al río Cumbaza que tiene origen en la Cordillera Escalera en tierras de las comunidades nativas de Aviación, Chiricyacu y Chinchivi. Las fuentes se desplazan hacia el lado suroeste de la cordillera y deposita sus aguas en el río Mayo. El clima es de tipo tropical con rangos de lluvias que van desde 1 280 a 1 853 mm/año. El espacio territorial tiene especial característica por ostentar comportamiento bimodal de lluvia, constituyéndose el período de marzo a abril, el más lluvioso, y el menos lluvioso de julio a agosto. La cuenca está entre las cotas altitudinales de 350 a 1 800 m.s.n.m. Los suelos de los cafetales están ubicados en la sección alta de las pendientes de los cerros. Son ordinariamente de poca profundidad, ácidos y de menor fertilidad. La temperatura oscila entre 18°C a 30°C, dependiendo de la elevación y humedad relativa.

El tipo de investigación es aplicado, de nivel descriptivo, explicativo y correlacional. La población estaba referida a los 150 productores de café del distrito de San Roque de Cumbaza. La muestra fue de 40 caficultores, comprendiendo 20 de café convencional y 20 de café orgánico. Fueron incluidos los productores de la parte media de la micro cuenca; y, excluidos, los residentes de los extremos de la micro cuenca del río Cumbaza. El muestreo fue probabilístico, porque cualquiera de los productores de la parte media de la micro cuenca podría formar parte de los investigados. Las variables fueron económica, social y ecológica. Utilizamos el método científico cuantitativo con análisis inductivo explicativo. Escogimos el inductivo, porque iniciamos con datos particulares para llegar a conclusiones generales. Explicativo, porque nos permitió explorar las variables que intervienen.

Utilizamos la técnica de la observación para obtener información, mediante el uso de escalas de clasificación. Utilizamos el instrumento encuesta con la finalidad de recabar información mediante preguntas desarrolladas en el cuestionario; la entrevista, donde se hizo preguntas del cuestionario y se anotaron en las respuestas. También se usó escalas tipo Likert, constituidas en un conjunto de ítems, bajo la modalidad de afirmaciones con un valor numérico atribuido; el cuestionario, que son directas, obtenidas a través de preguntas en el cuestionario; tabla de registro, instrumento muy valioso donde se consignan aspectos de primera línea que se generan en el campo. Las técnicas de procesamiento y análisis de datos se hicieron en el trabajo de campo, ordenando y codificando datos, tabulación, manejo de tablas estadísticas, figuras, análisis e interpretaciones.

La metodología que empleamos para la estimación de la sostenibilidad de los esquemas de producción de café, considera las siguientes etapas: áreas de evaluación, que incluyen variables económicas, sociales y ecológicas. Descripción del sistema de producción. Selección de indicadores estratégicos como, mediciones y monitoreo, análisis de los resultados, integración de resultados e indicadores y conclusiones. El examen de sostenibilidad toma en cuenta un par de tipologías de la producción de café, orgánico y convencional.

Los indicadores socioeconómicos y ecológicos seleccionados, fueron contrastados con las consultas bibliográficas, tomando en cuenta características de la población y consulta a expertos del cultivo. Hicimos selección de los indicadores que mostraban más confianza; y que, además, ofrecían dúctil medición.

Las mediciones de indicadores socioeconómicos lo realizamos mediante entrevistas semiestructuradas a los caficultores, buscando que las preguntas sean similares a los entrevistados. Las informaciones se obtuvieron en diferentes sectores de la cuenca del río Cumbaza, tanto de agricultores orgánicos como convencionales, en la misma área de producción.

Los indicadores financieros, los calculamos en función a los costos variables (efectivos y no efectivos), ya que hay inestabilidad en dichos rubros. Para el cómputo de los salarios empleados en la producción de café, tomamos en cuenta los costos del total de las tareas de manejo, así como mano de obra de la familia y personal contratado, y se repartió por el valor del jornal.

En relación al presupuesto para la producción de café hecho para los productores, tomamos en cuenta el proceso productivo del cultivo, así como los precios referidos al 2018. Para computar el importe de comercialización del café para el productor, sacamos medias de los costes empleados durante la etapa de mercadeo de la recolección de frutos del mismo año 2018.

Los indicadores ecológicos, fueron obtenidos y medidos en cada una de las parcelas de los productores, mediante procedimientos y muestreos determinados relacionados a cada indicador, espesor de la capa de hojarasca, cobertura muerta del suelo y densidad de lombrices del suelo.

Referente a las mediciones de estos indicadores, desarrollamos muestreo cada 20 metros en cada parcela, con repeticiones de cuatro muestreos por parcela. Utilizamos marcador de 1,00 m x 1,00 m (1 m²), donde se cogieron muestras para los indicadores. El grosor de hojarasca lo registramos con regla milimétrica; la cubierta muerta de la superficie estimamos con la observación visual porcentual; la densidad de lombrices

lo registramos zanjando con machete, un hoyo de 12 cm x 12 cm x 2 cm (Dangel, 2020); en el montículo de suelo extraído se contó las lombrices. Los datos los registramos en números de lombrices / m².

Los procesos erosivos han sido observados en cafetales, medidos mediante escala de Likert, los mismos que fueron validadas en el campo. Esta escala es una medida ordinal, asignando valores numéricos de 0-4, a las características de erosión (Barrantes Echavarría, 1999) (Tabla 1). Realizamos dos desplazamientos en diagonal, cruzando la parcela y tomando cinco coordenadas de visualización.

Tabla 1.

Escala Likert para la medición de evidencia de procesos erosivos cuenca del Cumbaza

Características	Valor
Ausencia de erosión	0
Erosión laminear incipiente	1
Erosión laminar evidente y/o en surcos (raíces de café)	2
Erosión de surcos evidente, evidencia en formas de cárcavas	3
Erosión con formación de cárcavas (mínimo dos cárcavas)	4

Para la evaluación de la sanidad del cafetal, empleamos la sistematización planteada por Staver et al. (2001) que se refiere al recuento de hojas con presencia de enfermedades. Empleamos los mismos cinco puntos de muestreo del cafetal, seccionados para la evidencia de erosión. Las características tomadas en cuenta eran: número de hojas con roya (*Hemileia vatratrix*); número de hojas con mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*); número de hojas con antracnosis (*Colletotrichum coffeanum*); número de hojas con ojo de gallo (*Mycena citricolor*). Para el cómputo de un indicador único de la salubridad del cafetal, se hizo una clasificación, tomando en cuenta por productor, los horizontes críticos de presencia de cada enfermedad, atribuyendo una apreciación y un respectivo índice (Tabla 2).

Tabla 2.

Categorización de un indicador para la sanidad del café

Características/Índice	Calificación	
Todas las enfermedades bajo del nivel crítico	Muy bueno	5
Por lo menos 50% de las enfermedades bajo del nivel crítico y los demás dentro del nivel crítico	Bueno	4
Todas las enfermedades dentro el nivel crítico	Regular	3
Por lo menos una enfermedad con nivel de incidencia al nivel críticos	Malo	2
Todas las enfermedades arriba del nivel crítico	Muy malo	1

Obtuvimos la cantidad de experiencias tendientes a la conservación con el desplazamiento y la visualización de los cafetales. Consideramos conocimientos de conservación: el uso del establecimiento de la plantación a curvas de nivel; el empleo de abono verde; la práctica de terrazas; las coberturas viva y muerta del suelo. El indicador uso de pesticidas, lo obtuvimos mediante encuestas semicerradas a los caficultores, registrando el volumen y tipo por año utilizado en la plantación.

Agrupamos las informaciones de los indicadores en una matriz, empleando unidades normalizadas específicas para cada indicador, porque tienen unidades de mediciones diferentes; las cuales, dificultan la comparación directa entre ellos. Determinamos los índices para cada indicador, desde valores, referencias o umbrales. Los umbrales se establecieron a partir del mayor valor encontrado en la muestra, para luego hacer un análisis comparativo entre los dos sistemas de producción. Los índices los tabulamos en escala de 0 – 10, vinculados a nivel de sostenibilidad para cada indicador por productor (Mäser & López Ridaura, 1999; Astier & Arnés, 2018) (Tabla 3).

Tabla 3.*Escala de valorización del nivel de sostenibilidad*

Nivel de índice de sostenibilidad	Representación	Valor de sostenibilidad
Sostenible	S	10-8
Potencialmente sostenible	PS	6-8
Medianamente sostenible	MS	4-6
Potencialmente insostenible	PI	2-4
Insostenible	I	0-2

Establecimos media por sistema, considerando índices concebidos por indicador y productor; los que sometimos al análisis de variancia y prueba de Student, realizadas en el Software Minitab- 17, para evaluar las discrepancias entre indicadores en las tres dimensiones de la sostenibilidad (social, económica y ecológica).

Los indicadores se agruparon en sus respectivas dimensiones de sostenibilidad; y luego, se promediaron, creando el índice de sostenibilidad social (IS); índice de sostenibilidad económica (ISE); y, el índice de sostenibilidad ecológica (ISEC), por productor y tratamiento; los que, sometimos a análisis de variancia univariado, para comprobar diferencia entre tratamientos con relación a las tres dimensiones de sostenibilidad (Tabla 4).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Dimensiones económicas

La producción orgánica certificada, exhibe en sus indicadores, mayor sostenibilidad económica: precio, mercado, margen bruto/ha, productividad del trabajo y relación beneficio costo. Los productores orgánicos certificados ostentan significativa ventaja de alcanzar su producto al comercio de exportación, que conlleva obtener mejor precio (Tabla 4).

Tabla 4.*Comparación de indicadores económicos en dos sistemas de producción de café en la cuenca del Cumbaza*

Indicador	Prueba T	SO (N=20)	Significación	SC (N=20)
Precio	0,000	10,000	Significativo	5,4900
Mercado (escala)	0,000	8,5050	Significativo	3,5450
Margen bruto/ha	0,000	4,5000	Significativo	2,2850
Costo de producción	0,826	5,3700	No significativo	5,4500
Productividad del trabajo	0,000	4,9700	Significativo	2,6000
Productividad del café	0,665	4,2000	No significativo	4,4550
Relación beneficio/costo	0,000	5,4050	Significativo	3,2750
Costo unitario	0,259	5,6666	No significativo	5,2550

Nota: SO= Sistema orgánico, SC= Sistema convencional

El excedente general, como evidencia si el método de obtención de cosechas concibe dividendos con suficiencia que permita abrigar los costos operativos, resultó ser más significativo en el método orgánico, vinculado primariamente al mejor precio y facilidad al comercio, manifestando estabilidad entre los referidos indicadores y con los resultados presentados por Adriano Anaya et al. (2011). Inversamente este indicador simboliza mayor debilidad en el procedimiento de caficultores convencionales. Los productores orgánicos presentaron menor dependencia externa, lo que significa un mayor grado de sostenibilidad. Los productores convencionales hacen que la subordinación de caudales del exterior signifique un alto riesgo para el caficultor, debido a que se incrementan los costos de producción y la fragilidad ante el aumento del precio de insumos. Los caficultores orgánicos, mostraron menor monto del costo total de producción que los productores convencionales, debido especialmente al alto coste de agroquímicos empleados en la conducción del cafetal. En cambio, al examinar el indicador MB/ha se comprueba que el coste de

producción no simboliza una dificultad en su producción, debido a que es rentable; sin embargo, subsiste luego una potencial amenaza, cuando ocurra una baja fuerte del precio de café, o en el otro caso, se presente notable incremento del precio de las materias sintéticas y/o de la mano de obra.

Hay carencias de divergencias explicativas entre los métodos para los indicadores, rendimiento del café, costo de producción y costo unitario. En cambio, para el indicador productividad del café, el tratamiento de productores convencionales mostró mayor valor que los demás tratamientos, quizá por merecer más intenso manejo de la plantación de café, con el uso de fertilizantes, foliares y pesticidas. Empero, los productores orgánicos certificados también realizaron manejo intenso del cafetal, la cosecha fue menor en comparación a los cafetaleros convencionales.

Con relación al costo unitario, el sistema convencional promedio fue más alto, debido a que muchos productores carecen de capitales económicos para usar en la conducción de la plantación de café, lo que conduce a menores costos en mano de obra que los productores orgánicos, y menores costos con agroquímicos. Sin embargo, esto tiene que estar armonizado con el costo total y los beneficios causados con la producción, son premiados con el elevado rendimiento o un elevado precio en el comercio (Figura 1).

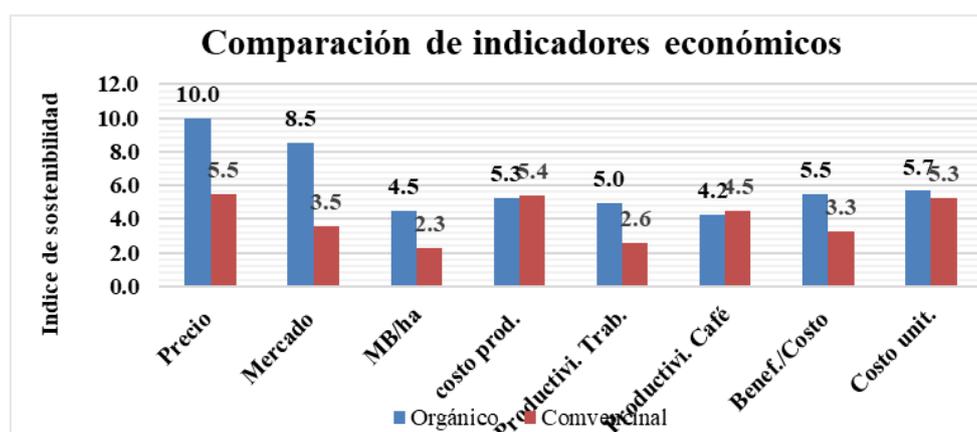


Figura 1. Integración de indicadores económicos para los dos sistemas de producción de café

En los ocho indicadores económicos, el esquema de producción orgánica presentó estadísticamente mayor sostenibilidad, en comparación al esquema convencional, precio, mercado, margen bruto, costo de producción, productividad del trabajo y relación beneficio costo. Existe coincidencia de los agricultores certificados con la obtención de mayores ganancias, lo que lleva a un aumento general en los ingresos de los hogares a través de estándares de 16 a 22 % (Meemken, 2020).

3.2. Dimensión social

Los productores de café orgánicos certificados presentaron mejores indicadores de sostenibilidad. Se encuentran diferencias significativas para los indicadores sociales: autoconsumo de producción de café, grado de participación, de consenso social y satisfacción de los productores e institucionalidad (Tabla 5).

Tabla 5.

Comparación de indicadores sociales en dos sistemas de producción de café en la sub cuenca del Cumbaza

Indicador	Prueba T	SO (N=20)	Significación	SC (N=20)
Autoconsumo	0,005	5,1600	Significativo	3,5050
Consenso social	0,075	6,9800	Significativo	4,2700
Participación	0,979	4,9200	Significativo	1,9050
Grado de satisfacción	0,051	6,6800	Significativo	5,9600
Institucionalidad	0,000	6,7500	Significativo	5,2800

Nota: SO= Sistema orgánico, SC= Sistema convencional

El autoconsumo deja de ser un indicador evidente de sostenibilidad, debido a que este indicador puede ser analizado desde diferentes puntos de vista, por ejemplo, un productor por no tener accesibilidad al mercado puede tener un alto nivel de autoconsumo. Contrariamente el productor no puede consumir nada de la parcela porque le representa mayor rentabilidad decidir expender su cosecha. Si analizamos este indicador desde el punto de vista alimentario, puede existir una vinculación directa entre el nivel de autoconsumo y la sostenibilidad, primordialmente en el método orgánico. En relación al indicador consenso social de caficultores orgánicos certificados, está congruente a la organización constituida por ellos mismos. Los hogares dependientes del café tienen menor diversidad productiva y acceso a mayores ingresos agrícolas, lo que afecta negativamente su alimentación. Comprender los canales de comunicación entre la comercialización agrícola y la nutrición es fundamental, ya que las zonas rurales están cada vez más integradas en los mercados (Van Asselt & Useche, 2022).

El consenso social está relacionado a la responsabilidad social, en organizaciones, como se puede observar en la firmeza dentro del grupo de indicadores. Los cafetaleros orgánicos tienen mayor valor de índice de participación. Cabe indicar que, los productores orgánicos y convencionales, tienen intervención en la colectividad, pero en horizontes disímiles. La intervención, primordialmente en comunidades de café orgánico, podría promover alivios, por tener mejores precios en el mercado internacional. Las organizaciones de productores (OP) en las cadenas de valor orgánicas responden a los incentivos del mercado, mientras que las organizaciones de productores en las cadenas de valor convencionales responden a los incentivos gubernamentales (Groot Kormelinck et al., 2019).

El grado de satisfacción, enuncia la satisfacción del caficultor vinculada a aspectos concernientes a la calidad de vida, llegar a tener infraestructuras (agua, luz, carretera), salud, educación y alimentación, debido a que ambos grupos viven en el área urbana de la sub cuenca del Cumbaza. La producción de café de calidad representa el resultado de los esfuerzos de múltiples partes interesadas, y sugieren que las intervenciones políticas para mejorar la producción colaborativa de café de calidad mediante el empoderamiento de las partes involucradas en los cuestionamientos de toma de decisiones en la cadena de valor del café, son importantes para hacer que los medios de vida basados en el café sostenible y resiliente al cambio climático (Adane & Bewket, 2022).

De los cinco indicadores sociales evaluados, el proceso orgánico mostró estadísticamente elevado nivel de sostenibilidad que el sistema convencional. Los indicadores de autoconsumo, consenso social, participación, grado de satisfacción e institucionalidad, presentaron mayores valores en tendencia de los promedios. Figura 2.

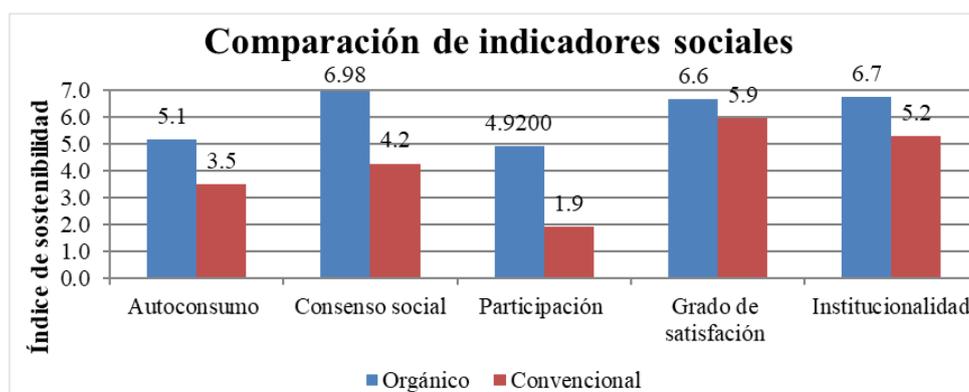


Figura 2. Integración de indicadores sociales en los dos sistemas de producción

3.3. Dimensión ecológica

Se hallaron discrepancias reveladoras entre los métodos orgánico y convencional, en cada uno de los parámetros establecidos para los indicadores ecológicos, espesor de hojarasca, número de prácticas de conservación, cobertura muerta del suelo, densidad de lombrices, sanidad del cultivo, uso de agroquímicos y erosión (Tabla 6).

Tabla 6.

Comparación de indicadores ecológicos en dos sistemas de producción de café en la cuenca del Cumbaza

Indicador	Prueba T	SO (N=20)	Significación	SC (N=20)
Espesor de hojarasca	0,2590	5,100	Significativo	3,590
N° de prácticas conservación	0,0000	5,630	Significativo	3,000
Cobertura muerta del suelo	0,0050	7,650	Significativo	6,450
Densidad de lombrices	0,0100	3,515	Significativo	2,640
Sanidad del cultivo	0,0050	7,750	Significativo	6,100
Uso de agroquímicos	0,0442	9,000	Significativo	8,500
Erosión (escala)	0,0670	6,450	Significativo	5,800

Nota: SO= Sistema orgánico, SC= Sistema Convencional

El volumen de hojarasca en los suelos de plantaciones de café arrojó significativo en el método orgánico en relación al método convencional. Esta respuesta podría vincularse al desistimiento de aplicación de herbicidas en la plantación, debido a que el producto químico posee acción de quema de la cobertura del suelo (Price, 2012). Cuanto mayor es el grosor de hojarasca sobre el suelo, especialmente de especies de la familia leguminosae (Fabaceae), mayor es la contribución al sustento de su fertilidad, debido al acrecentamiento de la actividad microbiana, la mengua de mermas de nutrientes y de procesos erosivos (Codillo Gutiérrez et al., 2008). Cada planta de sombra tiene un efecto diferente en la cantidad de SOC, TN y pH. El grosor de la hojarasca en el suelo afecta la cantidad de SOC y TN del suelo (Khotimah et al., 2022).

El sistema de producción orgánico presentó mayor cobertura muerta en el suelo. La salvaguarda que despliega la cubierta vegetal del suelo, lleva a menor merma del suelo y pequeño volumen de escorrentía, por la interrupción de la precipitación, que empequeñece el golpe de las gotas de lluvia y proporciona la filtración en el suelo (Rosas Arellano et al., 2008). El grosor de hojarasca y el porcentaje de cobertura del suelo, son factores apreciables en la conducción del cafetal, para el sustento de la producción del suelo y la sostenibilidad productiva a largo plazo. La producción de café está limitada por la baja fertilidad del suelo y la falta de mantillo orgánico (Bucagu et al., 2013). La aplicación de mantillo resultó en reducciones significativas en la densidad aparente del suelo y el potencial de erosión (Pb 0,001) y aumentos significativos en el carbono orgánico del suelo y la estabilidad de los agregados húmedos (Pb 0,001) (Nzeyimana et al., 2017).

Para el indicador densidad de lombrices, entre el orgánicos y el sistema convencional, el sistema orgánico mostró mayor nivel de sostenibilidad. Resultados similares se reportaron por Hole et al. (2005), en donde se imputa a los abonos orgánicos, cobertura del suelo y no aplicación de herbicidas, siendo los trascendentales elementos que ayudan a la mayor cantidad de lombrices en la administración orgánica. La mayor cantidad de vermes en el suelo involucra progreso de las propiedades de la sostenibilidad, productividad y estabilidad, ya que socorren a conservar la capacidad productiva y el equilibrio emprendedor del agro ecosistema (Masera & López Ridaura, 1999). La merma vinculada de la profusión y multiplicidad de vermes, así como de otros elementos de la fauna edáfica, transporta infaliblemente a detrimento de situaciones significativas del hábitat suelo, como por ejemplo la desintegración de la materia orgánica, el ciclaje de nutrientes, la ordenación de la estructura y microclima del suelo, las cuales determinan la fertilidad y el mantenimiento de la capacidad productiva del suelo (Giller et al., 1997). Los agricultores tienen poco conocimiento explícito de las actividades de las lombrices y su relación con la hojarasca como fuente de alimento. El conocimiento de los agricultores sobre los servicios ecosistémicos

proporcionados por las lombrices de tierra puede enriquecer la literatura científica actual y desencadenar un diálogo bidireccional con declaraciones resultantes (Mardiani et al., 2022).

De los indicadores ecológicos valuados, el procedimiento orgánico exhibió una media de valor significativamente mayor que, el método convencional, lo que nos indica un mayor nivel de sostenibilidad ecológica. En general, el método orgánico ostentó, en la propensión de las medias de los índices, valores más altos hacia la sostenibilidad.

El método orgánico, exteriorizó mayor sostenibilidad que el procedimiento de producción convencional en el uso de herbicidas y pesticidas, existiendo discrepancias significativas entre los sistemas de producción de café.

El uso de pesticidas y herbicidas ayuda vigorosamente a la contaminación del suelo, agua, disminuyendo la biodiversidad, la calidad del café y la sostenibilidad agrícola. La aplicación de pesticidas para mejorar la producción agrícola tiene serias implicaciones ambientales y para la salud humana. Su aplicación ineficiente y no reglamentada es una de las principales razones de su contaminación en el suelo, el agua y los sistemas alimentarios (Rasool et al., 2022). Idealmente, un plaguicida debe ser letal para las plagas objetivo, pero no para las especies no objetivo, incluido el hombre (Aktar et al., 2009). Se abren caminos alternativos al uso intensivo de productos químicos para la protección de cultivos, como los organismos genéticamente modificados, la agricultura orgánica, el cambio de hábitos dietéticos y el desarrollo de tecnologías alimentarias (Carvalho, 2017).

Las especies complementarias, asociadas en el cafetal, conllevan a conocer acerca de la diversidad de aves a través de mosaicos de paisajes simulados de café al sol, café a la sombra y bosques para comparar los enfoques de conservación de tierras compartidas, de conservación de tierras y de híbridos (Valente et al., 2022). El paradigma de conservación dominante en las regiones cafetaleras tropicales implica compartir la tierra, en el que los árboles de sombra amigables con la vida silvestre se integran en las plantaciones (Eurasia Review, 2022). Los sistemas agroforestales tienen la sombra, un factor muy polémico para la producción de café en términos de reducción potencial del rendimiento, así como necesidades de manejo adicionales e interacciones entre los árboles de sombra y las plagas y enfermedades (Koutouleas et al., 2022).

En el sistema orgánico, hay una cifra significativamente mayor de experiencias de conducción de conservación del suelo. Varias prácticas de manejo del suelo que promueven un uso más racional del agua, la labranza profunda combinada con enmiendas de cal, yeso y fertilizantes conducen a un aumento en la profundidad efectiva de las raíces del café, lo que reduce el estrés hídrico (Montoani Silva et al., 2020).

Las pericias conservacionistas esgrimidas por los trabajadores orgánicos son cubierta muerta del suelo, abono orgánico, cubierta viva. Cuanto mayor es el uso de experiencias de conducción conservacionista, mayor es la predisposición de permanencia y sostenibilidad ecológica del agro ecosistema. El mayor uso de habilidades de conservación puede influenciar también en los otros indicadores ecológicos encontrados, pues los productores orgánicos presentaron mayores valores de índices, así como una mejor propensión de sostenibilidad (Figura 3).

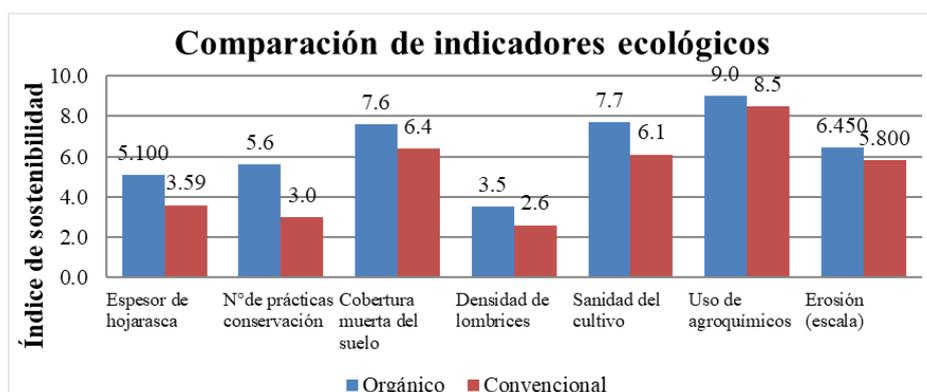


Figura 3. Integración de los indicadores ecológicos para los dos sistemas de producción de café orgánico y convencional en la cuenca del río Cumbaza

De los 20 indicadores que utilizamos en el análisis, el método orgánico exteriorizó mayores valores de sostenibilidad. Las fincas con certificación interna demuestran una mejor conducta ambiental pero no una mejor conducta social que las fincas no certificadas (Giuliani et al., 2017).

La Agricultura Orgánica (OA) es un ejemplo destacado, que ha recibido una atención sustancial de la investigación relacionada con el desempeño agronómico y ambiental (Curran et al., 2020). Al menos el 60% del café Arábica se produce en sistemas agroforestales (SAF), que son la forma más sostenible de producir café (Breitler et al., 2022).

4. CONCLUSIONES

Como producto de los dos sistemas estudiados, el sistema de producción orgánica certificada mostró mayor sostenibilidad socioeconómica que el procedimiento convencional, debido principalmente al más alto precio del café, coligado al acceso al mercado internacional.

Los productores orgánicos certificados también exhibieron mayor sostenibilidad ecológica y social que los caficultores convencionales, debido principalmente al uso de prácticas de conservaciones utilizadas en la conducción del cafetal, las que fueron significativamente mayores en los productores orgánicos, comparados con los del sistema convencional.

FINANCIAMIENTO

El trabajo recibió financiamiento de la Universidad Nacional de San Martín mediante Resolución N° 296-201-UNSM/CU-R/NLU (2 de mayo de 2018).

CONFLICTO DE INTERESES

El artículo no presenta conflicto de intereses.

AGRADECIMIENTO

Los investigadores, hacen llegar su sincero agradecimiento a los caficultores de Perú, en especial de San Martín y de la micro cuenca del río Cumbaza. También a las autoridades de la Universidad Nacional de San Martín, por su apoyo en la gestión y en el financiamiento de ejecución de la presente investigación.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Maldonado-Vásquez, S. D.: Conceptualización, adquisición de fondos, administración del proyecto, recursos, software

García-Bautista, A.: Curación de datos, análisis formal
 Maldonado-Vásquez, S. D., Ordóñez-Sánchez, L. A., Alvarado-Ramírez, J. W. y Arévalo-Gardini. E.: Investigación
 García-Bautista, A. y Maldonado-Vásquez, S. D.: Metodología
 Ordóñez-Sánchez, L. A.: Supervisión
 García-Bautista, A. y Alvarado Ramírez, J. W.: Validación
 Maldonado-Vásquez, S. D., Ordóñez-Sánchez, L. A., Alvarado-Ramírez, J. W.: Redacción (borrador)
 Arévalo-Gardini. E., García-Bautista, A. y Maldonado-Vásquez, S. D., Ordóñez-Sánchez, L. A.: Redacción (revisión y edición)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adane, A., & Bewket, W. (2022). Assessment of stakeholders' roles and linkages in quality coffee production in Yirgacheffe District, southern Ethiopia: Implications for local adaptation to climate change. *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography*, 76(3), 164–176. <https://doi.org/10.1080/00291951.2022.2079559>
- Adriano Anaya, M. de L., Jarquín Gálvez, R., Hernández Ramos, C., Salvador Figueroa, M., & Monreal Vargas, C. T. (2011). Biofertilización De Café Orgánico En Etapa De Vivero En Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3), 417–431. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342011000300009&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Aktar, W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>
- Astier, M., & Arnés, E. (2018). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS* (1st ed.). Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental.
- Barrantes Echavarría, R. (1999). *Investigación: un camino al conocimiento un enfoque cualitativo y cuantitativo* (1st ed.). EUNED.
- Breitler, J.-C., Etienne, H., Léran, S., Marie, L., & Bertrand, B. (2022). Description of an Arabica Coffee Ideotype for Agroforestry Cropping Systems: A Guideline for Breeding More Resilient New Varieties. *Plants*, 11(16), 2133. <https://doi.org/10.3390/plants11162133>
- Bucagu, C., Vanlauwe, B., & Giller, K. E. (2013). Managing Tephrosia mulch and fertilizer to enhance coffee productivity on smallholder farms in the Eastern African Highlands. *European Journal of Agronomy*, 48, 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.02.005>
- Campera, M., Budiadi, B., Adinda, E., Ahmad, N., Balestri, M., Hedger, K., Imron, M. A., Manson, S., Nijman, V., & Nekarís, K. A. I. (2021). Fostering a Wildlife-Friendly Program for Sustainable Coffee Farming: The Case of Small-Holder Farmers in Indonesia. *Land*, 10(2), 121. <https://doi.org/10.3390/land10020121>
- Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), 48–60. <https://doi.org/10.1002/fes3.108>
- CGMC. (2015). *Microcuenca del río Cumbaza*. El Comité de Gestión de La Microcuenca Del Cumbaza. <http://comitecumbaza.org/cumbaza/>
- Chen, M. (2020). The impacts of perceived moral obligation and sustainability self-identity on sustainability development: A theory of planned behavior purchase intention model of sustainability-labeled coffee and the moderating effect of climate change skepticism. *Business Strategy and the Environment*, 29(6), 2404–2417. <https://doi.org/10.1002/bse.2510>

- Codillo Gutiérrez, J. G., Gómez, L. I. A., & Esquivel, C. E. G. (2008). Agroecología y sustentabilidad. *Convergencia*, 15(46), 51–87.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-14352008000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Curran, M., Lazzarini, G., Baumgart, L., Gabel, V., Blockeel, J., Epple, R., Stolze, M., & Schader, C. (2020). Representative Farm-Based Sustainability Assessment of the Organic Sector in Switzerland Using the SMART-Farm Tool. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.554362>
- Dangel, G. (2020). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. *TecnoAgro*, 138, 1–88.
<http://agroecologiar.com/wp-content/uploads/2019/08/Guia-eval-calidad-y-salud-del-suelo.pdf>
- Dietz, T., Estrella Chong, A., Grabs, J., & Kilian, B. (2020). How Effective is Multiple Certification in Improving the Economic Conditions of Smallholder Farmers? Evidence from an Impact Evaluation in Colombia's Coffee Belt. *The Journal of Development Studies*, 56(6), 1141–1160.
<https://doi.org/10.1080/00220388.2019.1632433>
- Eurasia Review. (2022). *Birds Win In Coffee Landscapes With Forests And Shade Trees*. Eurasia Review News & Analysis. <https://www.eurasiareview.com/09062022-birds-win-in-coffee-landscapes-with-forests-and-shade-trees/>
- Fitch, A., Rowe, R. L., McNamara, N. P., Prayogo, C., Ishaq, R. M., Prasetyo, R. D., Mitchell, Z., Oakley, S., & Jones, L. (2022). The Coffee Compromise: Is Agricultural Expansion into Tree Plantations a Sustainable Option? *Sustainability*, 14(5), 3019. <https://doi.org/10.3390/su14053019>
- Gárate Ríos, J. (2021). *Modelo de gobernanza de los recursos hídricos cuenca río Cumbaza, Provincias de San Martín y Lamas - 2021* [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/81205>
- Gebreeyessus, G. D. (2022). Towards the sustainable and circular bioeconomy: Insights on spent coffee grounds valorization. *Science of The Total Environment*, 833, 155113.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155113>
- Giller, K. E., Beare, M. H., Lavelle, P., Izac, A.-M. N., & Swift, M. J. (1997). Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology*, 6(1), 3–16.
[https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(96\)00149-7](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(96)00149-7)
- Giuliani, E., Ciravegna, L., Vezzulli, A., & Kilian, B. (2017). Decoupling Standards from Practice: The Impact of In-House Certifications on Coffee Farms' Environmental and Social Conduct. *World Development*, 96, 294–314. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.03.013>
- Groot Kormelinck, A., Bijman, J., & Trienekens, J. (2019). Characterizing Producer Organizations: The case of organic versus conventional vegetables in Uruguay. *Journal of Rural Studies*, 69, 65–75.
<https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.04.012>
- Harvey, C. A., Pritts, A. A., Zwetsloot, M. J., Jansen, K., Pulleman, M. M., Armbrecht, I., Avelino, J., Barrera, J. F., Bunn, C., García, J. H., Isaza, C., Muñoz-Ucros, J., Pérez-Alemán, C. J., Rahn, E., Robiglio, V., Somarriba, E., & Valencia, V. (2021). Transformation of coffee-growing landscapes across Latin America. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(5), 62.
<https://doi.org/10.1007/s13593-021-00712-0>
- Hole, D. G., Perkins, A. J., Wilson, J. D., Alexander, I. H., Grice, P. V., & Evans, A. D. (2005). Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, 122(1), 113–130.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.07.018>
- Ibnu, M., Offermans, A., & Glasbergen, P. (2020). Toward a more sustainable coffee production. *Pelita*

- Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)*, 35(3), 212–229.
<https://doi.org/10.22302/iccri.jur.pelitaperkebunan.v35i3.361>
- Jiménez-Ortega, A. D., Aguilar Ibarra, A., Galeana-Pizaña, J. M., & Núñez, J. M. (2022). Changes over Time Matter: A Cycle of Participatory Sustainability Assessment of Organic Coffee in Chiapas, Mexico. *Sustainability*, 14(4), 2012. <https://doi.org/10.3390/su14042012>
- Khotimah, K., Suratno, Asyiah, I. N., & Haryadi, S. (2022). Analysis Of The Effect Of Leaf Litter Thickness On Soil Organic Carbon And Total Nitrogen In Coffee Plantations With Different Shade Plants In East Java, Indonesia. *Journal of Positive School Psychology*, 6(6), 2595–2603.
<https://www.journalppw.com/index.php/jpsp/article/view/7663/5010>
- Koutouleas, A., Sarzynski, T., Bordeaux, M., Bosselmann, A. S., Campa, C., Etienne, H., Turreira-García, N., Rigal, C., Vaast, P., Ramalho, J. C., Marraccini, P., & Ræbild, A. (2022). Shaded-Coffee: A Nature-Based Strategy for Coffee Production Under Climate Change? A Review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.877476>
- Mardiani, M. O., Kusumawati, I. A., Purnamasari, E., Prayogo, C., Van Noordwijk, M., & Hairiah, K. (2022). Local ecological knowledge of coffee agroforestry farmers on earthworms and their relation to soil quality in East Java (Indonesia). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(7).
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d230705>
- Masera, O., & López Ridaura, S. (1999). *Sustentabilidad y sistemas campesinos. cinco exper: cinco experiencias de evaluación en el México rural* (2nd ed.). Ediciones Mundi-Prensa.
- Meemken, E.-M. (2020). Do smallholder farmers benefit from sustainability standards? A systematic review and meta-analysis. *Global Food Security*, 26, 100373.
<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100373>
- Montoani Silva, B., César de Oliveira, G., Evaldo Serafim, M., Eloize Carducci, C., Andressa da Silva, É., Martins Barbosa, S., Beatriz Batista de Melo, L., Junior Reis dos Santos, W., Henrique Pereira Reis, T., Henrique Caputo de Oliveira, C., & Tácito Gontijo Guimarães, P. (2020). Soil Management and Water-Use Efficiency in Brazilian Coffee Crops. In *Coffee - Production and Research*. IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.89558>
- Nzeyimana, I., Hartemink, A. E., Ritsema, C., Stroosnijder, L., Lwanga, E. H., & Geissen, V. (2017). Mulching as a strategy to improve soil properties and reduce soil erodibility in coffee farming systems of Rwanda. *CATENA*, 149, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.034>
- Price, A. (2012). *Weed Control* (1st ed.). BoD – Books on Demand.
- Quesada-Román, A., Quirós-Arias, L., & Zamora-Pereira, J. C. (2022). Interactions between Geomorphology and Production Chain of High-Quality Coffee in Costa Rica. *Sustainability*, 14(9), 5265.
<https://doi.org/10.3390/su14095265>
- Rasool, S., Rasool, T., & Gani, K. M. (2022). A review of interactions of pesticides within various interfaces of intrinsic and organic residue amended soil environment. *Chemical Engineering Journal Advances*, 11, 100301. <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2022.100301>
- Rojas Ruiz, R., Alvarado Huamán, L., Borjas Ventura, R., Carbonell Torres, E., Castro Cepero, V., & Julca Otiniano, A. (2021). Sustentabilidad en fincas productoras de café (*Coffea arabica* L.) convencional y orgánica en el Valle del Alto Mayo, Región San Martín, Perú. *RIVAR*, 8(23), 1–13.
<https://doi.org/10.35588/rivar.v8i23.4916>
- Rosas Arellano, J., Escamilla Prado, E., & Ruiz Rosado, O. (2008). Relación de los nutrientes del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra Latinoamericana*, 26(4), 1–10.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792008000400010&script=sci_arttext

- Staver, C., Guharay, F., Monterroso, D., & Muschler, R. G. (2001). Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. *Agroforestry Systems*, 53, 151–170. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1013372403359>
- Tadesse, T., Tesfaye, B., & Abera, G. (2020). Coffee production constraints and opportunities at major growing districts of southern Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 6(1), 1741982. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1741982>
- Valente, J. J., Bennett, R. E., Gómez, C., Bayly, N. J., Rice, R. A., Marra, P. P., Ryder, T. B., & Sillett, T. S. (2022). Land-sparing and land-sharing provide complementary benefits for conserving avian biodiversity in coffee-growing landscapes. *Biological Conservation*, 270, 109568. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109568>
- Van Asselt, J., & Useche, P. (2022). Agricultural commercialization and nutrition evidence from smallholder coffee farmers. *World Development*, 159, 106021. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2022.106021>
- Wahyudi, A., Wulandari, S., Aunillah, A., & Alouw, J. C. (2020). Sustainability certification as a pillar to promote Indonesian coffee competitiveness. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 418(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/418/1/012009>
- Winter, E., Marton, S. M. R. R., Baumgart, L., Curran, M., Stolze, M., & Schader, C. (2020). Evaluating the Sustainability Performance of Typical Conventional and Certified Coffee Production Systems in Brazil and Ethiopia Based on Expert Judgements. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00049>



Efecto de coagulación-floculación en remoción del hierro y manganeso en acuífero

Coagulation effect-flocculation in removal of iron and manganese in aquifer

Olano-Arévalo, Roydichan^{1*}

Tuesta-Casique, Angel¹

Azabache-Aliaga, Belén²

¹Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú

²Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú

Recibido: 24 Jun. 2022 | **Aceptado:** 29 Dic. 2022 | **Publicado:** 20 Ene. 2023

Autor de correspondencia*: rolano@unsm.edu.pe

Como citar este artículo: Olano-Arévalo, R., Tuesta-Casique, A. & Azabache-Aliaga, B. (2023). Efecto de coagulación-floculación en remoción del hierro y manganeso en acuífero. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(1), e464.

<https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.e464>

RESUMEN

En el distrito de Yantaló, Moyobamba, existe un acuífero que abastece de agua como servicio ambiental a la comunidad, éste presenta evidencias de alta concentración de hierro y manganeso indicando contaminación por metales pesados. El objetivo fue determinar el efecto del proceso de coagulación - floculación en la remoción del hierro (Fe) y manganeso (Mn) en el acuífero. Se hipotetizó que el proceso de coagulación - floculación favorece la remoción del hierro y manganeso, siendo la investigación aplicada, cuyo diseño fue pre experimental. El acuífero se dividió en cinco zonas, tomándose 20 muestras y se utilizó el método de Prueba de Jarras. Los resultados iniciales arrojaron que la concentración de hierro superaba los Límites Máximos Permisibles (LMP) de agua para consumo humano; después de aplicar la variable independiente las concentraciones de hierro disminuyeron hasta 0,3 mg Fe/L. Concluyendo que luego del proceso de coagulación - floculación a través de la dosis óptima de sulfato de aluminio al 1% de solución madre, los parámetros finales se mantienen dentro del rango esperado. Se propone el diseño de dosificación óptima del Coagulante - Floculante para el tratamiento convencional del agua del acuífero.

Palabras clave: agua; coagulantes; floculantes; parámetros

ABSTRACT

In the district of Yantaló, Moyobamba, there is an aquifer that supplies water as an environmental service to the community, it presents evidence of a high concentration of iron and manganese indicating contamination by heavy metals. The objective was to determine the effect of the coagulation-flocculation process on the removal of iron (Fe) and manganese (Mn) in the aquifer. It was hypothesized that the coagulation - flocculation process favors the removal of iron and manganese, being the applied research, whose design was pre-experimental. The aquifer was divided into five zones, taking 20 samples and using the Jar Test method. The initial results showed that the iron concentration exceeded the Maximum Permissible Limits (MLP) of water for human consumption; after applying the independent variable, iron concentrations decreased to 0.3 mg Fe/L. Concluding that after the coagulation - flocculation process through the optimal dose of aluminum sulfate at 1% mother solution, the final parameters remain within the expected range. The optimal dosage design of the Coagulant - Flocculant for the conventional treatment of aquifer water is proposed.

Keywords: water; coagulants; flocculants; parameters



1. INTRODUCCIÓN

El hierro y el manganeso son elementos que dificultan el abastecimiento del agua potable. Álvarez Bastida (2018) encontró en un acuífero en Toluca presencia de hierro y manganeso en uno de los pozos estudiados que rebasa el límite permisible, lo cual puede causar daños a la salud de los consumidores. Siendo el más común el hierro que el manganeso, pero con poca frecuencia ocurren juntos, ello ha ocasionado que ciudades que no cuenten con sistema de tratamiento adecuado del agua presenten bacterias, hierro y manganeso, causando problemas en la salud de los consumidores, así como, en las tuberías y otros. La presencia de hierro puede provocar coloración, olor y generación de turbidez en las aguas debido a la oxidación de este compuesto, y la presencia de manganeso en niveles elevados se consideran indeseables ya que la interacción de este componente con el aire provoca la oxidación a Mn (IV) el cual otorga un sabor amargo o metálico y en interacciones con ciertos materiales provoca manchas (Guillen-Rivas et al., 2021).

La calidad del agua es un tema sensible y preocupante, puesto que una de las causales de su alteración es la contaminación, la UNESCO (2021) en su Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021; afirma que se han logrado reportar algunas tendencias sobre la calidad del agua, a pesar de que los datos mundiales sobre la misma siguen siendo escasos, dada la falta de capacidad para supervisar y elaborar informes, especialmente en algunos de los países menos desarrollados. La calidad del agua se ha deteriorado como resultado de la contaminación en casi todos los principales ríos de África, Asia y América Latina (Sierra Ramírez, 2021).

En contraste al problema, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, en el Objetivo de Desarrollo Sostenible sobre agua limpia y saneamiento PNUD (2015), menciona que la escasez de agua afecta a más del 40 por ciento de la población mundial, una cifra alarmante que probablemente aumente a medida que se incrementen las temperaturas globales debido al cambio climático. Aunque 2,100 millones de personas han obtenido acceso a mejores servicios de agua y saneamiento desde 1990, la disminución del acceso al agua potable de alta calidad es un problema importante y delicado que afecta a todos los continentes.

Se conoce que, en las redes de suministro de agua, el hierro y el manganeso del agua del grifo se oxidan a una valencia alta durante la desinfección. La precipitación de óxido formada en la tubería se adsorbe fácilmente en la red de suministro de agua, lo que afecta la calidad del suministro de agua potable (Kang et al., 2022). Es por ello, que en el proceso de potabilización del agua para consumo humano, la clarificación es una etapa importante, ya que permite la eliminación de los materiales sólidos y coloidales suspendidos, que involucra las fases de coagulación - floculación, donde para la coagulación se emplean compuestos químicos y polímeros sintéticos para aglutinar los sólidos en suspensión; la floculación, es la acumulación, por gravedad y filtrado de los flóculos, y la sedimentación, en la cual se retiran las partículas portadoras de bacterias que generan el color y la turbiedad del agua. En consecuencia, el compuesto químico más utilizado es el sulfato de aluminio (Valeriano-Mamani & Matos-Chamorro, 2019).

En el ámbito internacional respecto a la contaminación de aguas subterráneas por metales pesados, Hernández González et al. (2017) encontraron que las concentraciones de metales, específicamente hierro y manganeso, pueden indicar un grado de contaminación en estos acuíferos. Lo anterior, implica evitar su consumo por parte de la comunidad, ya que los datos encontrados reflejan que los niveles en algunos de los pozos muestreados rebasan los límites máximos permisibles. El consumo de agua con altos contenidos de manganeso representa graves daños a la salud, especialmente a la niñez. Aunque el hierro y el manganeso son oligoelementos necesarios para el cuerpo humano, beber agua superficial o subterránea con alto contenido de hierro y manganeso durante mucho tiempo provocará una intoxicación crónica y daños a la salud humana (Guillen-Rivas et al., 2021). Por lo general, el manganeso en cantidades excesivas puede actuar como un neurotóxico potencial; una mayor acumulación dentro del cuerpo puede afectar potencialmente la patogénesis neurodegenerativa (Chang-Long et al., 2022).

En la Amazonía peruana las aguas que provienen de cuerpos de agua superficial se convierten en un elemento fundamental para la promoción del desarrollo sostenible de las comunidades cuyo uso va desde el consumo humano, agrícola, pecuario, minero y energético. Asimismo, las fuentes de aguas subterráneas son las reservas de agua dulce para consumo humano, por lo tanto, resulta necesario definir su ubicación, cantidad, calidad, y distribución dentro de la unidad básica de planificación y desarrollo llamado cuenca hidrológica (Ruiz Martínez & Coronado Coronel, 2016).

En el distrito de Yantaló existe un acuífero que abastece de agua como servicio ambiental a toda la comunidad, la misma que presenta evidencias de alta concentración de hierro y manganeso, cuya presencia indica un alto nivel de contaminación por metales pesados; por lo tanto, estas aguas para ser usadas en el consumo humano y otros fines, deben ser previamente descontaminadas mediante procesos adecuados para garantizar el suministro de un servicio ambiental de calidad (Sandoval Salazar et al., 2020).

El hierro y el manganeso en las aguas subterráneas se pueden eliminar de manera efectiva mediante el uso de técnicas de tratamiento de agua que podrían adaptarse a la forma y concentración de hierro y manganeso contenida en el agua (Zevi et al., 2018). En consecuencia, existen diversos procesos disponibles para eliminar estos contaminantes y tienen una base fisicoquímica o biológica. Du et al. (2017) desarrollaron la propuesta PAC-MBR como una tecnología prometedora para la eliminación de hierro, manganeso y amoníaco en las aguas subterráneas, concluyendo que el sistema PAC-MBR produjo un buen efluente (hierro < 0,2 mg/L - 1; manganeso < 0,1 mg/L - 1 y amoníaco < 0,05 mg/L - 1) al purificar una gama más amplia de afluentes. En la misma línea de propuestas de eliminación de metales pesados en el agua, Swistock & William Sharpe (2019) precisa que los filtros oxidantes oxidan y filtran hierro y manganeso en una sola unidad. El filtro suele estar compuesto por arena verde tratada con manganeso, aunque también se pueden utilizar otros materiales como el BIRM. En el caso de un filtro de arena verde de manganeso, el medio filtrante se trata con permanganato de potasio para formar una capa que oxida el hierro y el manganeso disueltos y luego los filtra fuera del agua. Debido a que estas unidades combinan oxidación y filtración, pueden usarse para tratar agua cruda con hierro y manganeso disueltos y/u oxidados.

En el presente estudio optamos por aplicar del proceso de coagulación - floculación, en la remoción del hierro y manganeso presente en aguas del acuífero. El problema se define por la presencia de impurezas del tipo inorgánica y orgánica provenientes de los acuíferos, tales impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras y las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad. Para su remoción, tuvimos que alterar algunas características del agua, y logramos esta transformación a través de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración. Planteamos como objetivo general, determinar el efecto del proceso de coagulación - floculación en la remoción del hierro y manganeso presente en acuífero.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación tiene una cobertura para las aguas del acuífero. La investigación es del tipo aplicada. El diseño de investigación es el establecido por Hernández Sampieri et al. (2014), denominado "Diseño de preprueba - posprueba con un solo grupo" que se ubica en diseños preexperimentales.

Utilizamos los siguientes materiales y equipos: Equipo de Prueba de Jarras, coagulante, floculante.; y reactivos: Sulfato de Aluminio tipo A, sulfato de aluminio tipo B y polímero catiónico.

Para disminuir el error experimental, dividimos el acuífero en cinco zonas y en cada zona tomamos cuatro muestras, lo cual hace un total de veinte muestras debido a la alta variabilidad geográfica del terreno. Realizamos ocho ensayos en dos meses consecutivos, hicimos evaluaciones cualitativas y cuantitativas de las muestras captadas en cada zona. Para las interpretaciones de los resultados, en las variables

cuantitativas, utilizamos las medidas de dispersión estadística, los coeficientes de regresión y correlación lineal y múltiple.

Finalmente, hicimos una evaluación comparando con Estándares de la Legislación Peruana para aguas de consumo doméstico. Una vez aplicado los instrumentos de recolección de la información, realizamos el tratamiento correspondiente para el análisis de los mismos, utilizando la estadística descriptiva.

3. RESULTADOS

3.1. Características físico químicas iniciales (Turbidez, pH, conductividad, STD, color, hierro y manganeso) del agua del acuífero

En la Tabla 1, se observa que los valores de turbidez obtenidos no varían considerablemente, el mayor valor obtenido es 90 UNT y el menor 58 UNT. Dichos valores superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) de parámetros de calidad de agua para consumo humano (5 UNT), de acuerdo a lo establecido en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA (2010).

Los valores de pH, conductividad, TDS, color, Fe²⁺ y Mn, no presentan diferencias significativas; los valores mayores y menores de los parámetros obtenidos son los siguientes: pH es 6,9 y 6,68; de conductividad es 47,5 y 35,00, de TDS 24,3 y 12,2; de color es 70,2 y 55; el de hierro 0,56 y 0,38 mg/L y el valor mayor obtenido de manganeso de 0,32 y el menor es de 0,25 mg Mn/L. Dichos valores no superan los LMP de parámetros de calidad de agua para consumo humano, los valores establecidos son: el rango de pH esta entre 6,5 a 8,5; el de conductividad 1 500 µmho/cm, el de TDS 1 000 mg/L, el de color 15 UCV escala Pt/Co, el de hierro 0,3 mg/L y el de manganeso 0,4 mg Mn/L. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 1.

Parámetros físico – químicos iniciales del agua cruda del acuífero

Parámetro	Unid.	Resultados obtenidos del análisis de laboratorio en los ensayos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Turbiedad	NTU	87,00	68,00	70,00	62,00	58,00	74,00	90,00	80,00
pH	Unid.	6,90	6,70	6,68	6,85	6,85	6,82	6,88	6,78
Conductividad	µS/cm	37,80	42,20	40,00	35,00	45,50	42,00	47,50	38,20
TDS	mg/L	12,20	20,10	20,00	17,50	23,00	21,00	24,30	19,20
Color	UCV-Pt/Co	65,00	60,00	58,00	59,00	55,00	62,00	70,20	60,00
Temperatura	°C	22,50	22,50	22,60	22,80	22,60	22,60	22,60	22,50
Hierro	mg/L	0,45	0,48	0,40	0,38	0,38	0,48	0,56	0,40
Manganeso	mg/L	0,32	0,30	0,25	0,29	0,25	0,29	0,28	0,25

Según la Tabla 2, los valores de Aluminio obtenidos durante el período de evaluación no varían considerablemente, obteniendo el mayor valor 0,19 mg/L y el menor 0,15 mg/L. Dichos valores no superan los LMP de parámetros de calidad de agua para consumo humano (0,2 mg/L), asimismo, se puede determinar el olor aceptable de las evaluaciones del agua cruda. Otros parámetros evaluados, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.

Parámetros adicionales evaluados en el agua cruda del acuífero

Parámetro	Unid.	Resultados obtenidos del análisis de laboratorio en los ensayos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Olor	Aceptable	Ferroso	Ferroso	Ferroso	Ferroso	Ferroso	Ferroso	Ferroso	Ferroso
Aluminio	mg/L	0,17	0,18	0,15	0,16	0,15	0,15	0,19	0,15

3.2. Relación del hierro y manganeso con los rangos establecidos para aguas con fines de consumo humano (LMP)

Tabla 3.

Relación de niveles de hierro y LMP para agua de consumo humano

Parámetro	Unid.	Resultados obtenidos del análisis de Laboratorio según ensayos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Hierro	mg/L	0,45	0,48	0,40	0,38	0,38	0,48	0,56	0,40
LMP	mg/L	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Diferencia	mg/L	0,15	0,18	0,10	0,08	0,08	0,18	0,26	0,10
Observación		Superan los LMP							

Nota: El Límite Máximo Permissible para el parámetro hierro (+2), en agua para consumo humano de acuerdo con lo establecidos en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA (2010) es de 0,3 mg Fe/L.

Según la Figura 1, la concentración de Fe⁺² supera los LMP de parámetros de calidad de agua; por lo que es necesario realizar el tratamiento para la reducción.

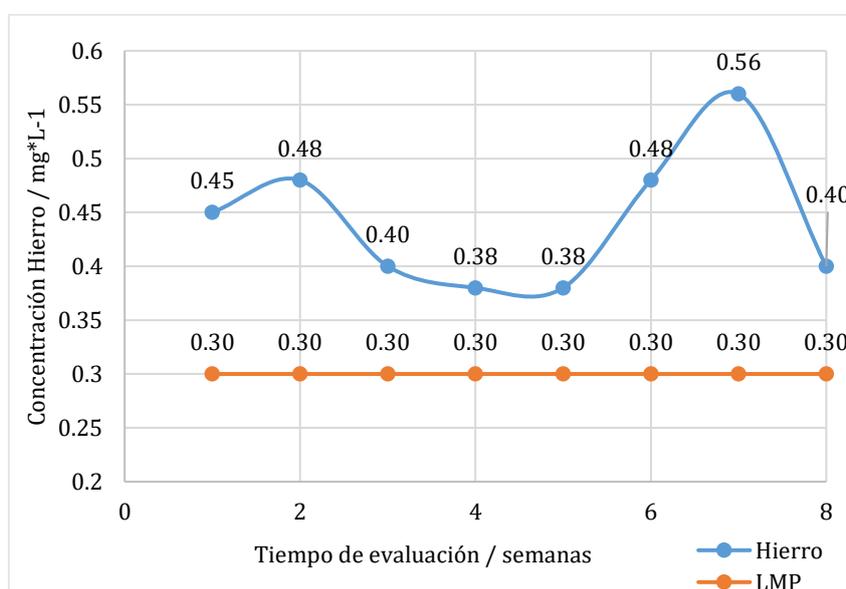


Figura 1. Resultados de concentración de hierro del agua

Tabla 4.

Relación de niveles de Manganeso y LMP para agua de consumo humano

Parámetro	Unid.	Resultados obtenidos del análisis de laboratorio según ensayos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Manganeso	mg/L	0,32	0,30	0,25	0,29	0,25	0,29	0,28	0,25
LMP	mg/L	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Diferencia	mg/L	-0,08	-0,10	-0,15	-0,11	-0,15	-0,11	-0,12	-0,15
Observación		No superan los LMP							

En la Figura 2, se observa que la concentración de Mn no supera los LMP de parámetros de calidad de agua para consumo humano, por lo que se encuentra dentro de LMP y no es necesario la reducción en el nivel de Mn presente en el agua.

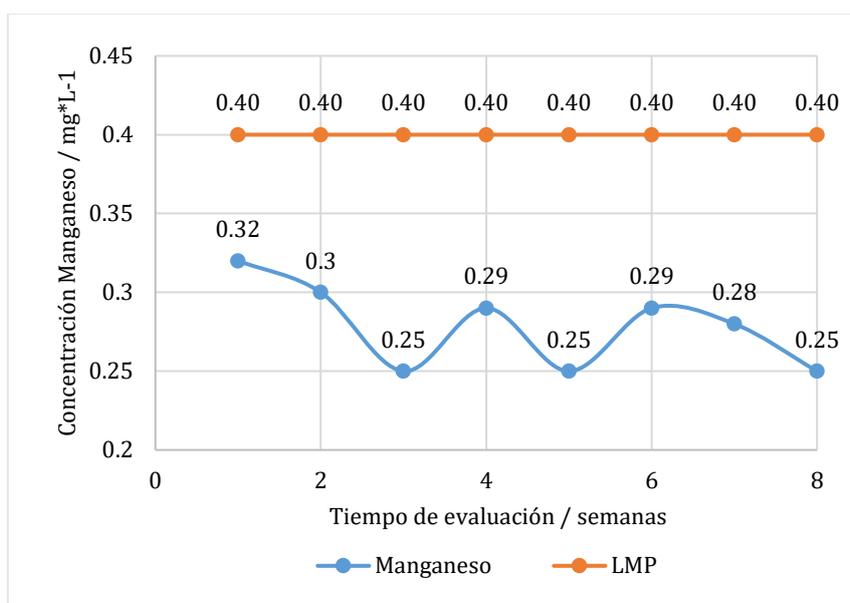


Figura 2. Resultados de concentración de manganeso del agua

3.3. Parámetros finales físico químicos (turbiedad, pH y hierro); después del proceso de coagulación – floculación

Para determinar los niveles de los parámetros físicos químicos finales, utilizamos la Prueba de Jarras. Cabe señalar que el proceso de coagulación – floculación, con sulfato de aluminio tipo A, sulfato de aluminio tipo B (coagulantes) y con polímero catiónico (floculante); tuvimos en cuenta las siguientes consideraciones técnicas:

Tabla 5.

Dosificación de coagulante – floculantes empleados

Solución / 2000 mL	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Concentración (mg/L)	10	15	20	25	30	35
mL	2	3	4	5	6	7

Según la Tabla 6, los resultados en los ensayos 5, 6, 7, 8 realizados el mes octubre son buenos después de haber utilizado el sulfato de aluminio granulado tipo A, donde los parámetros se encuentran dentro del rango que indican los LMP. Los parámetros físico químicos del agua varían en función al tiempo climático ya que en estas épocas de setiembre y octubre registran turbiedades bajas y poca variación en sus concentraciones.

El sulfato de aluminio tipo A, es un coagulante efectivo en el tratamiento de aguas para consumo humano dado que se presentan porcentajes significativos en la turbiedad.

Tabla 6.

Parámetros físico - químicos finales del agua cruda del acuífero

Parámetro	Unid	Resultados obtenidos del análisis de laboratorio en las Prueba de Jarras según ensayos											Prom	DE	IC (95%)
		Prueba de Jarras		Ensayos (setiembre - octubre)											
		Nº	mg/L	1	2	3	4	5	6	7	8				
Turbiedad	NTU	1	10	44,00	38,00	40,00	38,00	30,00	29,00	52,00	25,00	37,00	8,7994	6,0975	
		2	15	7,93	6,93	8,20	9,93	8,63	8,43	10,32	9,20	8,70	1,0981	0,7609	
		3	20	1,20	4,20	3,20	3,20	2,20	1,40	1,80	1,10	2,29	1,1307	0,7835	
		4	25	2,50	1,10	3,00	1,50	1,30	2,00	2,45	2,00	1,98	0,6546	0,4536	

		5	30	2,80	2,20	2,00	2,18	2,80	1,85	1,25	2,15	2,15	0,5245	0,3635
		6	35	1,80	1,60	2,15	1,95	1,60	1,72	1,58	1,40	1,73	0,2375	0,1646
pH	Unid	1	10	7,54	7,68	7,55	7,55	7,45	7,52	7,57	7,43	7,54	0,0767	0,0532
		2	15	7,57	7,65	7,50	7,60	7,52	7,55	7,56	7,48	7,55	0,0550	0,0381
		3	20	7,37	7,58	7,48	7,52	7,48	7,60	7,52	7,45	7,50	0,0731	0,0507
		4	25	7,49	7,49	7,50	7,50	7,47	7,52	7,55	7,40	7,49	0,0434	0,0301
		5	30	7,58	7,68	7,56	7,51	7,56	7,54	7,58	7,52	7,57	0,0526	0,0365
		6	35	7,45	7,55	7,59	7,56	7,50	7,58	7,55	7,46	7,53	0,0535	0,0370
Hierro	mg/L	1	10	0,30	0,18	0,25	0,22	0,19	0,18	0,19	0,20	0,21	0,0421	0,0292
		2	15	0,28	0,20	0,20	0,19	0,18	0,19	0,17	0,18	0,20	0,0344	0,0238
		3	20	0,13	0,19	0,22	0,18	0,20	0,13	0,15	0,10	0,16	0,0419	0,0290
		4	25	0,22	0,12	0,19	0,13	0,12	0,16	0,18	0,15	0,16	0,0360	0,0250
		5	30	0,29	0,20	0,12	0,15	0,15	0,16	0,13	0,16	0,17	0,0540	0,0374
		6	35	0,23	0,19	0,15	0,17	0,13	0,15	0,14	0,12	0,16	0,0359	0,0248

En la Figura 3, se observa que luego de realizar la Prueba de Jarras con la dosificación especificada de coagulante y floculante en las Jarras 3, 4, 5 y 6 cuyas concentraciones son 20, 25, 30 y 35 mg/L, los niveles de turbidez no superan los LMP de parámetros de calidad de agua para consumo humano (5 NTU) de acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA (2010). Asimismo, las barras de error indican un adecuado desarrollo de las mediciones en cada uno de los ensayos.

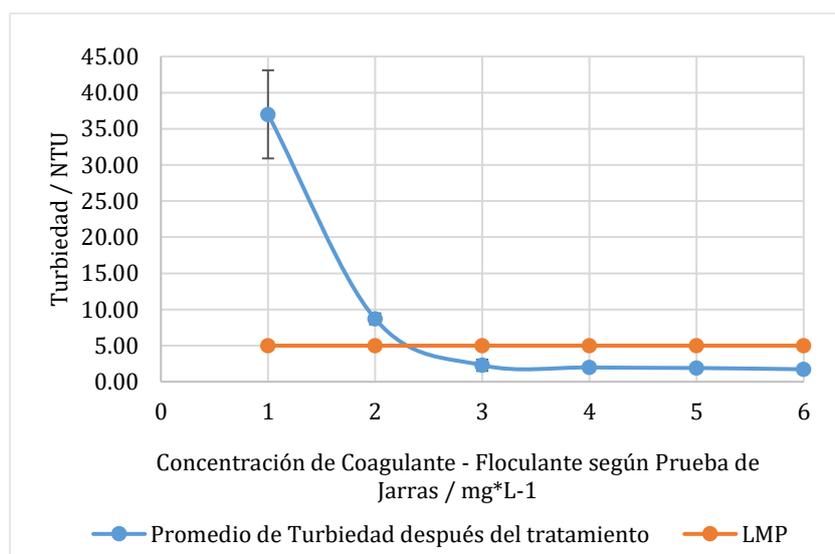


Figura 3. Resultados de turbiedad / NTU del agua

En la Figura 4, se evidencia que los resultados obtenidos al realizar la Prueba de Jarras con la dosificación especificada de coagulante y floculante en todas las Jarras los niveles de pH se encuentran dentro de los LMP de parámetros de calidad de agua para consumo humano (6,5 a 8,5) de acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA (2010). Asimismo, las barras de error indican un adecuado desarrollo de las mediciones en cada uno de los ensayos.

En la Figura 5, se aprecia que los resultados obtenidos al realizar la Prueba de Jarras con la dosificación especificada de coagulante y floculante; las concentraciones de Hierro se encuentran por debajo de los LMP de parámetros de calidad de agua para consumo humano (0,3 mg Fe/L) de acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA (2010). En efecto, siendo el menor valor obtenido de 0,16 mg/L al aplicar las dosificaciones en las jarras 3, 4 y 6 (20, 25 y 35 mg/L) resultan eficientes para el proceso de remoción del hierro (+2) en aguas del acuífero estudiado.

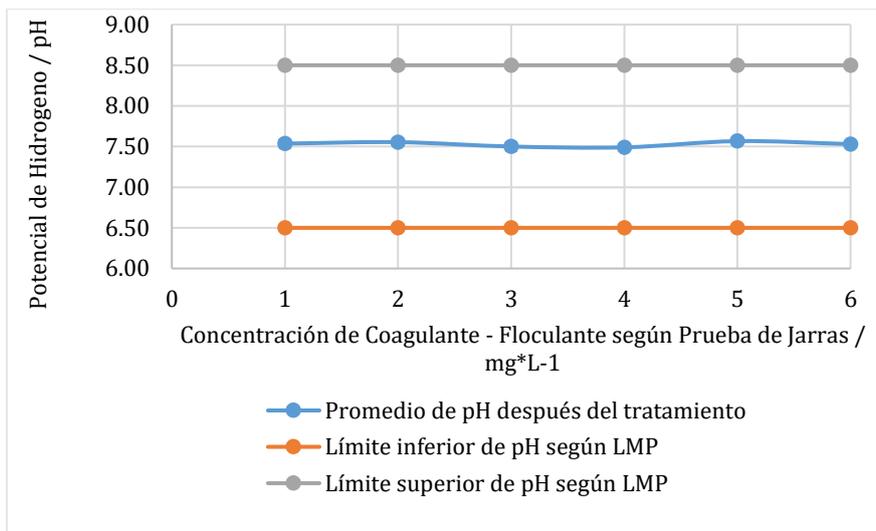


Figura 4. Resultados de potencial hidrógeno (pH) del agua

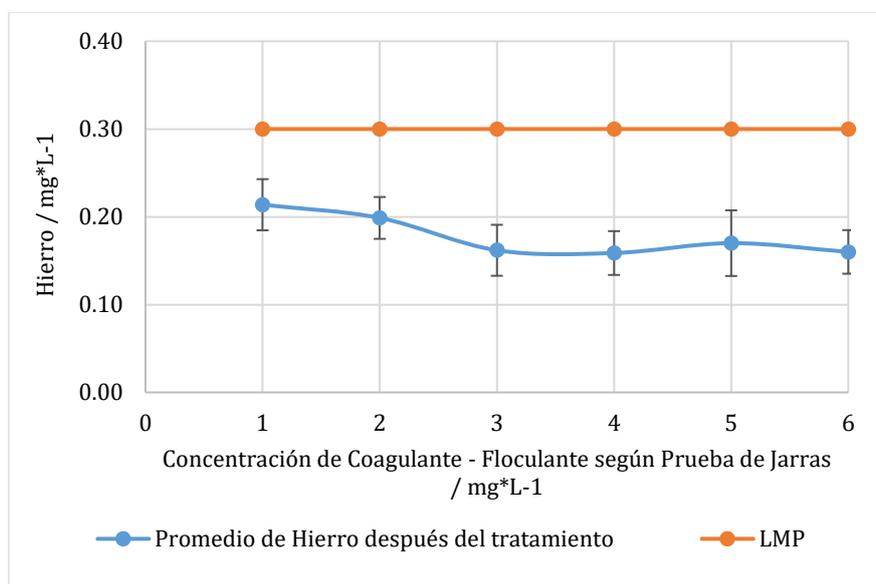


Figura 5. Resultados de hierro en el agua

3.4. Propuesta de diseño de dosificación óptima

La propuesta de diseño de dosificación óptima para el tratamiento convencional del agua del acuífero del distrito de Yantaló mediante el proceso de coagulación – floculación para remoción del hierro y manganeso empleando sulfato de aluminio tipo A, sulfato de aluminio tipo B (coagulantes) y con polímero catiónico (floculante), se plantea a partir del resultado promedio de dosis óptima obtenidos en cada ensayo realizado durante dos meses (setiembre y octubre del 2015). Los parámetros de operación que se sugieren son los propuestos en la Tabla 5. El resumen de dosis óptimas encontradas se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 7.

Resumen de dosis óptima encontrada en los ensayos de Pruebas de Jarras para la remoción del Hierro durante el tiempo de evaluación (setiembre – octubre)

Coagulante	Unid.	Dosis óptimas según ensayos para la remoción del Hierro								Prom
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$	mg/L	20,00	25,00	30,00	25,00	25,00	20,00	30,00	20,00	24,38

Tabla 8.

Propuesta de diseño de dosificación óptima de Coagulante – Floculante para la remoción de hierro y manganeso presente en las aguas del acuífero

Solución / 2000 mL	Dosificación del Coagulante - Floculante
Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$ / $mg \cdot L^{-1}$	25
mL	5

4. DISCUSIONES

De los parámetros físico químico iniciales de calidad de agua del acuífero, el parámetro de turbiedad supera considerablemente (el menor nivel es de 58 UNT) los LMP (5 UNT), al igual que los parámetros color y hierro; siendo el valor obtenido de 70,2 UCV escala Pt/Co y 0,56 mg/L respectivamente en comparación con los ECAS establecidas en el Decreto Supremo N.º015-2015-MINAM (2015) (15 UCV escala Pt/Co y 0,30 mg/L respectivamente). Los parámetros conductividad, STD, pH y manganeso no superan los LMP, al igual que menciona Álvarez Bastida (2018), en los últimos años se han observado cambios significativos y continuos en la composición fisicoquímica del agua de uso y consumo, entre ellos, el incremento de los iones nitratos y el dióxido de carbono, los cuáles pueden ser transportados al agua naturalmente o por actividades antropogénicas, y entrar en contacto con el agua aportando acidez lo cual la hace corrosiva o agresiva, deteriorando la infraestructura metálica y/o materiales con que entra en contacto, incorporando al agua hierro y manganeso solubles lo que afectan las propiedades organolépticas, al aportar color y turbiedad al agua.

Los niveles de hierro obtenidos del análisis de laboratorio en el periodo de evaluación superan los niveles establecidos en el Decreto Supremo N.º015-2015-MINAM (2015) y en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA (2010); siendo el mayor valor de diferencia de 0,26 mg/L y el menor de 0,08 mg/L, excediendo en 33% aproximadamente. Respecto a los niveles de manganeso. Dichos valores no superan los Límites Máximos Permisibles de parámetros de calidad de agua para consumo humano (0,4 mg Mn/L), de acuerdo con lo establecidos en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA (2010), así como Hernández González et al. (2017) indica que la presencia de manganeso fue detectada en cinco de los siete pozos analizados en el Municipio de Apan. Sin embargo, solo en los pozos de Santa Cruz (4,05 mg/L) y Chimalpa (3,718 mg/L), los niveles de manganeso sobrepasaron ampliamente el límite recomendado por la Norma Oficial Mexicana que es de 0,15 mg/L. Asimismo, no se encontró correlación entre las concentraciones de hierro y manganeso. De los sitios evaluados, el pozo de Santa Cruz fue el que presentó las concentraciones más altas para ambos metales. El resto de los parámetros complementarios estuvieron dentro del rango establecido por la norma.

Los niveles de los parámetros físico químico finales de calidad de agua del acuífero a través de la dosis óptima de sulfato de aluminio al 1% de solución madre (Prueba de jarras) se pudo establecer los parámetros finales una turbiedad 1,73 NTU, pH 7,49 y de hierro (+2) 0,16 mg/L. Se observa, que en los ensayos 5, 6, 7, 8 realizados el mes octubre son buenos después de haber utilizado el sulfato de aluminio granulado tipo A donde los parámetros se encuentran dentro del rango que nos indican los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP). En efecto, no existe una correlación lineal entre la dosis óptima aplicada del coagulante y la turbiedad del agua cruda, dado que en los ensayos experimentales se obtuvieron resultados con dosificaciones mayores en muestras de turbiedad bajas, mientras que en turbiedades altas se emplean dosificaciones menores; así como menciona SENA (2020), que el ensayo de jarras ha sido ampliamente usado; sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento, así como en la optimización de plantas existentes. El procedimiento requiere como datos previos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda; Cruz Monzon et al. (2011) afirma que uno de los coagulantes que se utilizan en la práctica para agua potable son sales de Aluminio quienes forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas son: El Sulfato de

Aluminio, $Al_2(SO_4)_3 \times 14H_2O$, que en la práctica se le denomina como Alumbre; el Sulfato de Aluminio Amoniaco y el Aluminato Sódico. El primero es el que se usa con mayor frecuencia dado su bajo costo y manejo relativamente sencillo. En la misma línea de coincidencias Bora et al. (2018) concluye que el método OCOP modificado muestra que las concentraciones de hierro y manganeso del agua contaminada se pueden eliminar simultáneamente a menos de 0,03 mg/L y 0,009 mg/L a partir de concentraciones iniciales de 1–8 mg/L y 0,5–5,0 mg/L, respectivamente.

La propuesta de diseño de dosificación óptima del coagulante - floculante para el tratamiento convencional del agua del acuífero del distrito de Yantaló con sulfato de aluminio al 1% de solución madre, la concentración óptima es de 25 mg/L, en comparación de lo que determinó Galindo Yantas (2018) que durante los meses de avenidas las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo B, siendo el rango de aplicación en la época de avenidas (enero, febrero, marzo y abril), de 29 mg/L a 34 mg/L, siendo el promedio de la dosificación en épocas de avenidas 31,5 mg/L, mientras en la época de estiaje el rango de aplicación se encuentra dentro del rango de 24 mg/L a 29 mg/, siendo el promedio de la dosificación en épocas de estiaje 26,5 mg/L al aplicar las dosis en los rangos ya mencionados se puede garantizar que el agua tratada cumpla el LMP de turbiedad (5 NTU) y el LMP de color (15 UCV), de acuerdo a lo establecido en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA (2010).

5. CONCLUSIONES

Los valores obtenidos de los parámetros físico químico iniciales de calidad de agua son: el parámetro de turbiedad supera (el menor nivel es de 58 UNT) los LMP (5 UNT), al igual que los parámetros color y hierro; siendo el valor obtenido de 70,2 UCV escala Pt/Co y 0,56 mg/L respectivamente en comparación con los ECAS establecidas en el Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM (2015), (15 UCV escala Pt/Co y 0,30 mg/L respectivamente). Los parámetros conductividad, STD, pH y manganeso no superan los LMP.

La relación de los niveles de hierro supera los niveles establecidos en el Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM (2015) y en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA (2010); siendo en mayor valor de diferencia de 0,26 mg/L y el menor de 0,08 mg/L, excediendo en 33% aproximadamente. Respecto a los niveles de manganeso dichos valores no superan los Límites Máximos Permisibles de parámetros de calidad de agua para consumo humano (0,4 mg Mn/L), de acuerdo a lo establecidos en Decreto Supremo N.º 031-2010-SA (2010).

Los parámetros físico químico finales de calidad de agua a través de la dosis óptima de sulfato de aluminio al 1% de solución madre se pudo establecer los parámetros finales una turbiedad 1,73 NTU, pH 7,49 y de hierro 0,16 mg/L. Se observa, que en los ensayos 5, 6, 7, 8 realizados son buenos después de haber utilizado el sulfato de aluminio granulado tipo A donde los parámetros se encuentran dentro del rango que nos indican los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP). En efecto, no existe una correlación lineal entre la dosis óptima aplicada del coagulante y la turbiedad del agua cruda dado que en los ensayos experimentales se obtuvieron resultados con dosificaciones mayores en muestras de turbiedad bajas, mientras que en turbiedades altas se emplean dosificaciones menores.

La propuesta de diseño de dosificación óptima del coagulante - floculante para el tratamiento convencional del agua del acuífero con sulfato de aluminio al 1% de solución madre arroja una concentración óptima de 25 mg/L.

FINANCIAMIENTO

La investigación ha sido financiada por la Universidad Nacional de San Martín a través del "Concurso de Proyectos de Investigación Científica – Tecnológica e Innovación de la UNSM-T, período 2015" según Resolución de Consejo Universitario N° 138-2015-UNSM/CU-R/NLU.

CONFLICTO DE INTERESES

El presente artículo no presenta conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Olano-Arévalo, R., Tuesta-Casique, A. y Azabache Aliaga, R.: Conceptualización.

Olano-Arévalo, R., Tuesta-Casique, A. y Azabache Aliaga, R.: Curación de datos.

Olano-Arévalo, R., Tuesta-Casique, A. y Azabache Aliaga, R.: Análisis formal.

Olano-Arévalo, R. y Tuesta-Casique, A.: Investigación.

Olano-Arévalo, R., Tuesta-Casique, A. y Azabache Aliaga, R.: Metodología.

Tuesta-Casique, A.: Supervisión.

Olano-Arévalo, R.: Validación.

Tuesta-Casique, A. y Azabache Aliaga, R.: Redacción (borrador original).

Olano-Arévalo, R.: Redacción (revisión y edición).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez Bastida, C. (2018). *Impacto del carácter corrosivo iónico y por dióxido de carbono del agua en materiales de acero al carbón de un sistema de abastecimiento de agua potable en el Municipio de Toluca* [Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/94960>
- Bora, A. J., Mohan, R., & Dutta, R. K. (2018). Simultaneous removal of arsenic, iron and manganese from groundwater by oxidation-coagulation-adsorption at optimized pH. *Water Supply*, 18(1), 60–70. <https://doi.org/10.2166/ws.2017.092>
- Chang-Long, F., Liu, C., YU, M.-Y., Chen, S.-Q., & Mehmood, T. (2022). Removal performance and mechanism of the dissolved manganese in groundwater using ultrafiltration coupled with HA complexation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(6), 108931. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108931>
- Cruz Monzon, J. A., Padilla Guzman, M., & Azabache Liza, Y. F. (2011). *Efecto del proceso de coagulación floculación, en la remoción del hierro (II), presente en las aguas de la quebrada Juninguillo, Moyobamba* [Universidad Nacional de San Martín]. <http://hdl.handle.net/11458/2821>
- Decreto Supremo N.º 031-2010-SA. (2010). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. *Ministerio de Salud (26 de Setiembre de 2010)*. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>
- Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM. (2015). Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación. *Ministerio Del Ambiente (19 de Diciembre de 2015)*. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-015-2015-minam/>
- Du, X., Liu, G., Qu, F., Li, K., Shao, S., Li, G., & Liang, H. (2017). Removal of iron, manganese and ammonia from groundwater using a PAC-MBR system: The anti-pollution ability, microbial population and membrane fouling. *Desalination*, 403, 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.03.002>
- Galindo Yantas, G. (2018). *Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado tipo b en la planta de tratamiento de agua potable Yurajhuanca – emapa Pasco* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/347>
- Guillen-Rivas, J. R., Jaramillo-Cedeño, A. R., Baquerizo-Crespo, R. J., & Córdova-Mosquera, R. A. (2021). Estudio de los procesos de remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas: una revisión.

Polo Del Conocimiento, 6(9), 1384–1407. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i9.3118>

- Hernández González, S., Gómez Vega, A., Juárez Yáñez, P., & Hernández Zárate, G. (2017). Determinación de hierro y manganeso en el agua subterránea del municipio de Apan, Hidalgo, México. *Revista de Divulgación Científica*, 5(1). http://reaxon.utleon.edu.mx/Art_Determinacion_de_hierro_y_manganeso_en_el_agua_subterranea_del_municipio_de_Apan_Hidalgo_Mexico.html#
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6th ed.). Interamericana editores, S.A.
- Kang, H., Liu, Y., Li, D., & Xu, L. (2022). Study on the Removal of Iron and Manganese from Groundwater Using Modified Manganese Sand Based on Response Surface Methodology. *Applied Sciences*, 12(22), 11798. <https://doi.org/10.3390/app122211798>
- PNUD. (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible - Objetivo 6: Agua Limpia y Saneamiento*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals#agua-limpia-saneamiento>
- Ruiz Martínez, A., & Coronado Coronel, M. (2016). Tratamiento de agua subterránea mediante la utilización de ósmosis inversa para consumo familiar en el sector Chuina, Morales-San Martín-2015. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 2(2), 1.10. https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/621/0
- Sandoval Salazar, N. R., Bravo Mori, J., & Iñapi Bardalez, E. (2020). *Mejoramiento del sistema de agua potable de la localidad de Yantaló provincia de Moyobamba región San Martín* [Universidad Nacional de San Martín]. <http://hdl.handle.net/11458/4254>
- SENA. (2020). *Operación y mantenimiento de tratamiento de agua residual*. Servicio Nacional de Aprendizaje. <https://normograma.sena.edu.co/normograma/docs/arbol/1000.htm>
- Sierra Ramírez, C. A. (2021). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico* (1st ed.). Ediciones de la U.
- Swistock, B., & William Sharpe, P. D. (2019). Iron and Manganese in Private Water Systems. In *Private well water in connecticut* (pp. 1–4). PennState Extension. <https://extension.psu.edu/iron-and-manganese-in-private-water-systems>
- UNESCO. (2021). *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021: El valor del agua* (1st ed.). Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Valeriano-Mamani, J. J., & Matos-Chamorro, R. A. (2019). Influencia de la Goma de Tara (*Caesalpinia spinosa*) como Ayudante en el Proceso de Coagulación-Floculación para la Remoción de Turbidez de una Suspensión Artificial de Bentonita. *Información Tecnológica*, 30(5), 299–308. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000500299>
- Zevi, Y., Dewita, S., Aghasa, A., & Dwinandha, D. (2018). Removal of Iron and Manganese from Natural Groundwater by Continuous Reactor Using Activated and Natural Mordenite Mineral Adsorption. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 111, 012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/111/1/012016>



Retorno de la anidación de la Gaviota Filico (*Sternula antillarum*) a la bahía El Saco, isla de Coche, Venezuela

Return of nesting Filico Gull (*Sternula antillarum*) to El Saco Bay, Coche Island, Venezuela

Silva-Rojas, Sabino Rafael¹

Traviezo-Valles, Luis Eduardo^{2,3*}

¹Alcaldía del municipio Villalba, isla de Coche, estado Nueva Esparta, Venezuela

²Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, Venezuela

³Fundación NaWaraos, Barquisimeto, Venezuela

Recibido: 03 Jul. 2022 | **Aceptado:** 03 Oct. 2022 | **Publicado:** 20 Ene. 2023

Autor de correspondencia*: luisetraviezo@hotmail.com

Como citar este artículo: Silva-Rojas, S. R. & Traviezo-Valles, L. E. (2023). Retorno de la anidación de la Gaviota Filico (*Sternula antillarum*) a la bahía El Saco, isla de Coche, Venezuela. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(1), e417.

<https://doi.org/10.51252/reacae.v2i1.e417>

RESUMEN

Después de su ausencia por treinta años, se describe nuevamente la presencia y reanidación de *Sternula antillarum* (Charadriiformes: Laridae), en la bahía El Saco, isla de Coche, Venezuela. Se señala como posible causa del resurgimiento de estas pequeñas colonias a la ausencia de visitas turísticas y de habitantes locales, durante los más de dos años de pandemia (COVID-19), encuentros que en ocasiones (motos cuatro ruedas, camiones y otros vehículos rústicos) perturbaban o dañaban el frágil equilibrio ecológico de esta isla paradisíaca del Caribe, de aquí que, sea importante escuchar e involucrar a los ecologistas de la isla en todas las actividades turísticas, para que haya un desarrollo sustentable, con mínimo impacto al ambiente, a su flora y fauna, ya que las aves solo anidarán donde se sientan tranquilas y seguras.

Palabras clave: conservación; gaviota; huevos; nido; reproducción; *Sternula*

ABSTRACT

After its absence for thirty years, the presence and renesting of *Sternula antillarum* (Charadriiformes: Laridae) in El Saco Bay, Coche Island, Venezuela, is again described. It is pointed out as a possible cause of the resurgence of these small colonies the absence of tourist visits and local inhabitants, during the more than two years of pandemic (COVID 19), encounters that sometimes (four-wheel motorcycles, trucks and other rustic vehicles) disturbed or damaged the fragile ecological balance of this paradisiacal Caribbean island, hence it is important to listen to and involve the ecologists of the island in all tourist activities, so that there is sustainable development with minimal impact on the environment, its flora and fauna, since the birds will only nest where they feel calm and safe.

Keywords: conservation; eggs; nest; reproduction; seagull; *Sternula*



1. INTRODUCCIÓN

Sternula antillarum Lesson, 1847, conocida popularmente como Gaviota Filico (Charrancito) o como “Tirrita” por los pobladores de isla de Coche, es un ave que se siente muy cómoda cerca de la arena y de los humedales costeros. Los ejemplares adultos se distinguen por su pico amarillo con la punta negra, patas cortas y amarillas, frente blanca y birrete (píleo) negro. Su tamaño aproximado es entre 22 y 24 cm, con una envergadura de alas que puede llegar a los 50 cm y un peso que ronda entre los 38 y 52 g (Amador *et al.*, 2008; Bienert, 2012).

La subespecie *Sternula antillarum antillarum*, se reproduce normalmente en la costa atlántica de EE.UU (entre Maine y Florida) y en México, pero también se ha señalado a lo largo de la costa norte de Sudamérica, donde es catalogada como una especie migratoria boreal, principalmente en las islas mar afuera. Transitar caribeño que no es más que una escala en su largo viaje hasta el norte de Brasil, no obstante, existen registros de anidaciones en Aruba, Bermudas, Trinidad, Cuba y en islas caribeñas de Venezuela (Rodríguez *et al.*, 2009; Escola *et al.*, 2012; Giner F., 2012; Silva Rojas, 2022).

La Gaviota Filico es considerada, en Venezuela, como poco común y migratoria en las islas mar afuera de abril a junio y muy rara a lo largo de la costa continental. Se han señalado poblaciones en las islas de Margarita, las Aves, la Orchila, la Tortuga, los Roques e Isla de Coche, mientras que, anidando, solamente se ha registrado en las islas de Margarita, los Roques y Coche (Giner, 2012; Silva Rojas, 2022).

En las costas continentales de Venezuela se indican avistamientos en los estados Delta Amacuro, Anzoátegui (Barcelona), Aragua (Turiamo), Falcón y en el estado Zulia, específicamente en el Lago de Maracaibo (Escola *et al.*, 2012).

En la bahía El Saco (isla de Coche) los últimos reportes de esta especie anidando se señalaron entre 1980 y 1992, por lo que, nuevos avistamientos de esta especie, en esta zona ecológica protegida, representan una nueva luz de esperanza en la repoblación de la “Tirrita” en la prístina bahía “El Saco” (Silva Rojas, 2022).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estado (departamento) de Nueva Esparta es el único estado insular de Venezuela, ubicado en la zona nororiental del país, está conformado por tres islas, Margarita, Coche y Cubagua (Figura 1), agrupando escasamente el 0,13% del territorio nacional. La isla de Coche (única isla/municipio de Venezuela) abarca un área de 55 Km², con terrenos planos y acantilados con alturas máximas de 60 msnm, exhibe un clima semiárido, con temperaturas medias de 28°C y máximas de 38°C, con precipitaciones medias anuales menores a los 300 mm, siendo su ubicación 10°44'-10°49' N; 63°53'-64°01' O (Boadas, 2022).

Se hicieron recorridos aleatorios de abril a junio del 2021 por la bahía El Saco (cerca de la población de Güinima), en el sur de la isla de Coche, para el avistamiento de aves, recorridos que se repitieron nuevamente de abril a junio del 2022, especialmente las observaciones realizadas el 11 de junio del 2022, documentando los hallazgos con fotografías de los nidos y de los adultos que revoloteaban defendiendo sus lugares de anidación (10°53'48" N-71°24'55" O).



Figura 1. Ubicación geográfica en Venezuela, de la isla de Coche y en el cuadrado inferior derecho se señala la bahía El Saco, particularmente el lugar de las nuevas anidaciones de la Gaviota Filico (*Tirrita*)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la bahía El Saco no se hacían reportes de parejas de *Sternula antillarum* anidando desde los años 1991 y 1992, apreciándose un silencio censal de unos treinta años, ausencia causada posiblemente por las continuas descargas en los mismos lugares de anidación, de enormes cantidades de conchas de pepitonas (*Arca zebra*) provenientes de caseríos cercanos. Cantidad de montañas de conchas de nácar que paulatinamente se convirtieron en un nuevo destino turístico (el cementerio de las Conchas) por lo que eran visitadas en vehículos rústicos que dañaban los nidos y espantaban a las aves (Silva Rojas, 2022).

Este alejamiento de la reproducción se mantuvo hasta el año 2021, cuando nuevamente se avistan y fotografían parejas anidando en dicha reserva ecológica, avistamientos que se repiten y corroboran, particularmente el 11 de junio 2022, cuando se observan cinco nidos característicos, que son hendiduras desnudas, poco profundas, en las playas arenosas (en la grava), nidos rodeados de caracoles, piedras y conchas, en zonas con escasa o nula vegetación (Álvarez Nafarrate, 2021).

Uno de los nidos presentó dos huevos (normalmente de 2 a 3 huevos) estos tenían un tamaño aproximado de 30 mm de diámetro interpolar, por 20 mm de diámetro ecuatorial, con una coloración blanco/grisácea, con manchas marrones y grises oscuras. También se observaron unas cinco parejas (Figuras 2, 3 y 4) que sobrevolaban y atacaban a los observadores, para alejarlos de su zona de anidación (Escola *et al.*, 2012; Giner, 2012).

Al igual que en playas de Cuba, esta especie se agrupa en colonias pequeñas de entre 2 y 20 parejas, donde también se asemejan en la escasa postura de apenas 1 o 2 huevos, todo lo contrario, a zonas templadas donde se reportan nidos con 4 o 5 huevos, tal vez por elementos adversos que le obligan a adaptarse al nuevo ambiente, maximizando su éxito reproductivo y supervivencia en esta etapa de su ciclo (Rodríguez *et al.*, 2009).



Figura 2. Nido de *Sternula antillarum*, con dos huevos



Figura 3. Pareja de *Sternula antillarum*



Figura 4. Pareja de adultos y dos juveniles de *Sturnella antillarum* en una playa cercana a la bahía El Saco, isla de Coche

Normalmente en esta especie, el período de incubación es de 20 a 24 días y la anidación (sur del Caribe) es desde finales de mayo a junio, tal que la ausencia de huevos en los otros cuatro nidos, podría deberse a que sería un período de anidación tardía, depredación por aves de rapiña u otros predadores (ratas, perros, gatos) o por la intervención humana (Amador *et al.*, 2008; Bienert, 2012).

Uno de los posibles elementos que pudieron contribuir en el resurgimiento de las nidadas de la Gaviota Filico, pudo ser, que durante la pandemia de la COVID-19, se suspendieron por más de dos años la mayoría de las actividades turísticas en la zona y especialmente los recorridos en motos de cuatro ruedas, donde conductores distraídos irrespetaban el camino predeterminado por los ecologistas, transitando a su libre albedrío por toda la zona, acción que permitía la destrucción de los nidos y de sus huevos, nidos que son invisibles para los observadores inexpertos.

Otro elemento importante a considerar, en favor de las aves, fue la disminución del tráfico vehicular en toda la isla, debido a la crisis de gasolina (escases), que casualmente coincidió con el período de pandemia (Silva Rojas, 2022).

El avistamiento de cinco nidos no necesariamente significa la presencia de cinco parejas de aves residentes, ya que algunas parejas tienden a reanidar ante el fracaso en el primer sitio seleccionado o por el otro lado, algunas parejas frecuentan los lugares de anidación, hacen el cortejo en tierra, pero no terminan construyendo el nido. No obstante, en la presente investigación, la cantidad de nidos observados coincidía con las cinco parejas que se observaron revoloteando en la zona (Amador *et al.*, 2008; Bienert, 2012; Silva Rojas, 2022).

La observación por dos años consecutivos de anidaciones de *Sturnella antillarum* inmigrantes, implica su adaptación, nuevamente a esta bahía, de tal manera que las crías que logren crecer con éxito, mostrarán

una lealtad al sitio de su colonia de nacimiento (filopatría natal) lo que permitiría contar con nuevas parejas, año tras año, comportamiento que admitiría un crecimiento sustentable (Álvarez Nafarrate, 2021). En estas mismas zonas, también anidaba la Tirra Canalera (*Thalasseus maximus*) y el Caracolero (*Haematopus palliatus*) que quizás abandonaron sus anidaciones anuales, tal vez, por las mismas circunstancias que la Gaviotas Filico. Otra especie que aún se ha mantenido anidando es el Playero Pico Grueso (*Charadrius wilsonia*). En las salinas de San Pedro (noroeste de la isla) persiste en la actualidad, una colonia abundante de Gaviotas Filico (Figura 5), lo cual es muy prometedor para esta especie en toda la isla de Coche (Silva Rojas, 2022).



Figura 5. Pichón de *Sternula antillarum* en las salinas de San Pedro de Coche, la principal área de cría de esta especie en toda la isla

4. CONCLUSIONES

Hay que aprovechar esta nueva oportunidad que da la naturaleza, de recolonización de poblaciones alejadas de la bahía El Saco y paralelamente, estimular la observación ecológica de aves para promover la conservación y el turismo ecológico, actividad que ayude al bienestar económico de sus pobladores, los cuales verán en la preservación de los hábitats, una sana fuente de ingresos.

La observación de aves debe ser un emprendimiento turístico, ecológico, conservacionista, que poco a poco sustituya a otros usos con impacto negativo al ambiente. Una visita o caminata guiada que permita apreciar, en todo su esplendor, el amplio pentagrama natural de sonidos, colores y sensaciones, elementos que convierten a la isla de Coche en un maravilloso destino, prístino para soñar, fácil de encantar e imposible de olvidar.

FINANCIAMIENTO

Ninguno

AGRADECIMIENTO

Al equipo humano de la Fundación NaWaraos y de la Alcaldía de Villalba (estado Nueva Esparta), por el apoyo prestado.

CONFLICTO DE INTERESES

El artículo no presenta conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Silva-Rojas, S. R: Trabajos de campo, observación sistemática de las aves, recolección de información, descripción taxonómica, discusión e interpretación de los resultados.

Traviezo-Valles, L. E.: Recolección de datos, análisis, discusión e interpretación de los resultados. Redacción y metodología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez Nafarrate, C. M. (2021). *Conectividad entre sitios de anidación de Sternula antillarum browni en San Diego, California y el Estero de Punta Banda, Baja California* [Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada].
<http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/3637>
- Amador, E., Mendoza Salgado, R., & Palacios, E. (2008). Manejo de un sitio de anidación para la conservación de *Sternula antillarum* (Charadriiformes: Laridae) en Baja California Sur, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79(1), 71–274.
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2008.001.501>
- Bienert, M. (2012). Reproducción de *Sternula antillarum* (Least Tern o Charran Menudo) en Salinas Grandes, Nicaragua. *Revista Zeledonia*, 16(2), 91–94.
http://apps.isiknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=52&S_ID=V2ETIRNGvldRntVVceS&page=1&doc=14
- Boadas, E. (2022). *Estado de Nueva Esparta*. Margarita En Tus Manos.
<https://margaritaentusmanosrevista.com/wp/estado-nueva-esparta/>
- Escola, F., Hernández, C., & Calchi, R. (2012). Primer reporte de esquizocroismo en la Gaviota Filico *Sternula antillarum* (Laridae) en Venezuela. *Revista Venezolana de Ornitología*, 2, 35–37.
<http://uvo.ciens.ucv.ve/wp-content/uploads/2020/05/02RVO-35%E2%80%9337-Escola-et-al-2012.pdf>
- Giner, S. B. (2012). Anidación de la gaviota filico (*sternula antillarum*) y el playero picogruoso (*charadrius wilsonia*) en las costas del estado falcón, Venezuela. *Journal of Caribbean Ornithology*, 25(1), 24–30.
<https://jco.birdscaribbean.org/index.php/jco/article/view/5>
- Rodríguez, A., Rodríguez, P., & Zayas, R. (2009). Nidificación de la gaviotica (*Sternula antillarum*) y la gaviota común (*Sterna hirundo*) en el sur de la isla de la juventud, Cuba. *Journal of Caribbean Ornithology*, 22(2), 96–97. <https://jco.birdscaribbean.org/index.php/jco/article/view/149>
- Silva Rojas, S. R. (2022). *Aves de la Isla de Coche*. Registro Fotográfico y Descripción de Las Especies de Aves Observadas En La Isla de Coche. <http://avesisladecoche.blogspot.com/2015/10/reservorio-de-aves-cementerio-de-las.html>